

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra elektroenergetiky**

# **SOLÁRNÍ ELEKTRÁRNY**

Solar Power Stations

2012

Tomáš Kryštof

## Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Kryštof**  
Studijní program: B2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika  
Téma: **Solární elektrárny**  
**Solar Power Stations**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky solární energie
2. Solární elektrárny a jejich provozování
3. Ukázka vyhodnocení naměřených dat

Seznam doporučené odborné literatury:


1. Murtinger P., Bernatovský J., Tomeš T.: Fotovoltaika, elektřina ze slunce, ERA, Brno, 2007
2. Henze A., Hillebrand W.: Elektrický proud ze slunce, HEL, Ostrava, 2000
3. Další literatura podle pokynu vedoucího bakalářské práce

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Petr Krejčí, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2011

Datum odevzdání: 04.05.2012

  
prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
*vedoucí katedry*



  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
*děkan fakulty*

**Prohlášení:**

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

**Poděkování:**

Děkuji mému vedoucímu práce doc. Ing. Petru Krejčímu, Ph.D. za odborné vedení při mé práci a dále také Ing. Michalovi Skřepkovi, Ph.D. za poskytnutí dat ze solární elektrárny.

V Ostravě dne 3.5.2012

  
.....  
Tomáš Kryštof

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou solárních elektráren, jejich fungováním a provozováním. V úvodu se věnuje základním pojmům, slunci jako zdroji energie, jeho pohybu po obloze a podmínkám v ČR. Druhá část je věnována FV systémům, jejich principu fungování a zařízením potřebných k provozu. Třetí část se pak zabývá základní ekonomickou otázkou stavby a provozu elektrárny. V poslední části probíhá analýza měřených dat z reálné solární elektrárny.

## **Klíčová slova**

Solární elektrárna, fotovoltaika, solární panel, provozování, analýza dat

## **Abstract**

This thesis deals with the operation of solar power plants and their operation. The introduction is devoted to basic concepts, the sun as a source of energy, its motion across the sky and the conditions in the country. The second part is devoted to PV systems, their principle of operation and equipment needed for operation. The third part then deals with issues of economic construction and operation of the plant. The last part is an analysis of measured data from real solar power.

## **Key words**

Solar plant, photovoltaics, solar panel, operation, analysis of data

## Seznam použitých zkratk a symbolů:

°C	stupeň celsia
a.s	akciová společnost
AM	air mass
CPC	compound parabolic concentrator- Složený parabolický koncentrátor
ČR	Česká republika
EMC	elektromagnetická kompatibilita – electromagnetic compatibility
EVA	ethylenvinyl acetát kopolymer
FV	fotovoltaické
FVE	fotovoltaická elektrárna
GSM -	groupe spécial mobile - globální systém pro mobilní komunikaci
Kč	korun českých
KERS	kinetic energy recovery dystem, dystem rekuperace kinetické energie
kWh	kilowatt hodina
NOCT	jmenovitá provozní teplota článků – nominal operation cell temperature
OZE	obnovitelné zdroje energie
PC	personal computer – osobní počítač
s.r.o.	společnost s ručeným omezeným
STC	standartní testovací podmínky – standart test conditions
VA	voltampérova
Wp	watt peak

ÚVOD .....	8
1. Úvod do problematiky solární energie .....	9
1.1 Základní pojmy .....	9
1.2 Energie Slunce .....	9
1.3 Možnosti využití dopadající energie .....	9
1.4 Podmínky na Zemi .....	10
1.5 Měření dopadajícího záření, údaje ČR .....	10
1.6 Pohyb slunce po obloze .....	12
2 Fotovoltaické Systémy .....	13
2.1 Solární článek a jeho princip fungování .....	13
2.2 Materiály pro výrobu solárních článků .....	15
2.3 Solární panel .....	17
2.4 Úpravy panelů pro zvýšení účinnosti .....	18
2.5 Rozšiřující konstrukční prvky pro zvýšení denního výkonu .....	18
2.6 Druhy instalace solárních systémů .....	22
2.7 Komponenty a pomocná zařízení pro fotovoltaické systémy .....	23
3 Solární elektrárny a jejich provozování .....	28
3.1 Vstupní údaje pro ekonomické zhodnocení .....	28
3.2 Způsoby státní podpory FVE v ČR .....	29
3.3 Ekonomická návratnost .....	30
3.4 Doba životnosti solární elektrárny .....	31
3.5 Ekologie .....	31
3.6 Provoz a monitoring FVE .....	32
4 Analýza naměřených dat .....	35
4.1 Popis zařízení .....	35
4.2 Solární panely BP Solar 230 .....	35
4.3 Měnič Danfoss TLX 15 .....	36
4.4 Teoretický výkon zařízení daný polohou .....	36
4.5 Teoretický výkon elektrárny při použití dvouosého trackeru .....	38

4.6	Skutečný roční výkon FVE .....	39
4.7	Výkon soustavy v závislosti na osvětlení .....	40
4.8	Vliv teploty panelů na účinnost elektrárny.....	43
ZÁVĚR .....		44
LITERATURA.....		45
PŘÍLOHY .....		48

# ÚVOD

Pojem solární energie se v ČR stal v posledních letech nejvíce diskutovanou otázkou ze všech OZE. Důsledkem nečekaného snížení cen technologií a špatně nastavené legislativy se investice do solárních elektráren dostaly do popředí zájmu. Garantované vysoké výkupní ceny a systém zelených bonusů, nabídl investorům vysoký poměr výnosů k bezpečnosti investice do FVE. Zejména možnost stavět elektrárny na nestavebních pozemcích, nastartovala v ČR „solární boom“. Pozitivní stránkou „boomu“ lze spatřit na mnoha střechách rodinných domů, skladů či veřejných staveb, kde FVE využívají energetický potenciál jejich ploch. Druhou stranu mince pak spatřujeme na místech, dříve určených pro pěstování obilí či řepky, kde dnes stojí ocelové konstrukce s fotovoltaickými panely. Od 1. 3. 2012 však nastal pro stavby o jmenovitém výkonu větším než 30 kWp postavených mimo střechy budov definitivní STOP stav a dále nejsou součástí podpory. Nacházíme se tedy v době, kdy před námi stojí provozování již připojených FVE v horizontu dalších 25 - 35 let. Pro naplnění smyslu stavby a podpory OZE je nezbytný jejich správný provoz a fungování po celou dobu životnosti. Tímto směrem je mimo jiné směřována i tato práce. [27]

*Teoretická část* práce se komplexně zaměřuje na celý rozsah solárních elektráren. Jsou zde rozebrány jednotlivé elementární prvky elektrárny a jejich princip fungování. Hovoří se zde o vhodnosti volby umístění, i o možnostech využití elektřiny pocházející z elektrárny. Tato část také pojednává o způsobech, jak nejlépe zefektivnit výrobu elektřiny ze slunce a tím dosáhnout co nejlepšího ekonomického zhodnocení investice. Na ekonomickou stránku věci je pak vyhrazena zvláštní část, poukazující na vývoj podpory FVE v ČR, ekonomiku provozu a otázkou budoucí likvidace elektrárny. Závěr teoretické části se pak soustředí na provoz a monitoring elektrárny.

*Praktická část* je pojata jako ukázka vyhodnocení naměřených dat z reálné elektrárny. Ukazuje jaké data má provozovatel elektrárny k dispozici, a jak s nimi lze nakládat. Vyhodnocená data poukazují na chování elektrárny v provozu.

Cílem práce je dodat čtenáři komplexní informace o fungování solárních elektráren a jejich součástí, a tím vést elektrárnu k bezproblémovému provozu. Práce se však vzhledem k současnému stavu podpory nezabývá hlubší ekonomickou analýzou ani legislativou spojenou se stavbou elektrárny.



# 1. ÚVOD DO PROBLEMATIKY SOLÁRNÍ ENERGIE

## 1.1 Základní pojmy

Fotovoltaika (photovoltaic) - složenina řeckých slov "phos" (světlo) a volt (jméno italského fyzika Alessandra Volty)

Fotovoltaický (solární) článek - polovodičová součástka schopná přeměňovat sluneční světlo na energii

Fotovoltaický (solární) panel – několik do série zapojených fotovoltaických článků

Fotovoltaická (sluneční) elektrárna – složení několika solárních panelů, měničů napětí (pro systémy připojené k distribuční síti) převádějící vyrobený stejnosměrný proud na střídavý, jističů a zařízení k ochraně FVE proti úderu blesku nebo přepětí v síti, elektroměrů pro evidenci vyrobené a dodané elektřiny do sítě a propojovací kabeláže

Watt peak (Wp) - jednotka označující špičkový výkon fotovoltaického panelu (systému) za ideálních podmínek tzn. výkon panelu při standardním kondičním testu (intenzita záření 1000W/m<sup>2</sup>, spektrální šířka AM 1,5, teplota článku 25°C) [26]

## 1.2 Energie Slunce

Slunce jako zdroj energie je tady přibližně 4,6 miliard let a dalších 5 miliard let bude podle vědců trvat, než začnou probíhat ve slunci změny, vedoucí k jeho zániku. Slunce se tedy dá vzhledem k délce života lidské civilizace považovat za dlouhodobě stabilní a udržitelný zdroj.

Energie ve slunci vzniká v důsledku jaderné fúze, tj. slučováním jader vodíku za vzniku helia a dalších těžších prvků. Při přeměně vodíku na helium, tedy při přeměně těžšího prvku na lehčí se uvolní energie, která je určena Einsteinovou rovnicí  $E=mc^2$ . Ze Slunce se tedy každou vteřinou uvolní  $3,8 \cdot 10^{26}$  J energie a ubude v něm 4,26 miliónů tun hmoty. Tato energie je vyzařována Sluncem do okolí v podobě elektromagnetického záření.

Na hranici atmosféry Země je energie v blízkém kosmickém prostoru určena solární konstantou 1400W/m<sup>2</sup>. Energie dopadající na povrch Země je v důsledku rozptylu, absorpce a odrazu elektromagnetického záření v atmosféře pouze 1000W/m<sup>2</sup> při jasné obloze. V případě špatného stavu atmosféry, tj. například zatažená obloha tato hodnota dále klesá. [3,4]

## 1.3 Možnosti využití dopadající energie

Jakožto OZE lze solární energii využívat takřka kdekoliv, kde svítí Slunce. Využití této energie může být různorodé od ohřevu vody v solárních kolektorech, k výrobě elektřiny za pomoci

fotovoltaických článků až k přeměně na mechanickou nebo chemickou energii. Aby se nám využívání těchto zdrojů ekonomicky vyplatilo, musíme zvážit mnoho faktorů ovlivňujících jejich účinnost. Hlavní faktor je množství záření dopadající na plochu panelu v čase (den, týden, měsíc...).

Jako historicky první praktické využití FV panelů najdeme na družicích, jenž obíhají na naší oběžné dráze. Zde je situace takřka modelová, neboť jak již víme světelný tok v blízkém vesmíru je určený solární konstantou ( $1,4\text{W/m}^2$ ). Panely na družicích se natáčení téměř vždy kolmo k dopadajícímu záření, což zvyšuje jejich účinnost a protože pohyb těles ve vesmíru umíme vypočítat, víme kdy se družice ocitne ve stínu jiného tělesa a po jak dlouhou dobu tomu bude.

Na Zemi je situace ovšem trochu jiná. Vlivem atmosféry je zde solární konstanta menší a vlivem počasí mnohem proměnlivější. Nelze navíc zaručit vždy kolmé postavení panelů vůči Slunci. [7;9]

## 1.4 Podmínky na Zemi

Jak různorodá je naše planeta tak různorodé jsou podmínky, které na ní panují. V našich zeměpisných šířkách je množství dopadajícího záření na jednotku plochy kolmé k dopadajícím paprskům za běžného dne necelých  $1000\text{W/m}^2$ . Abychom vůbec mohli správně využít energetický potenciál záření ze Slunce, je nutné znát faktory, které tuto hodnotu ovlivňují. Následuje tedy jejich výčet:

- Klima – s tím spojené množství oblačnosti. Ta je hlavní překážkou pro průchod světla. Proto, aby bylo možno nějakým způsobem zahrnout oblačnost do výpočtů, vychází se ze statistik meteorologických ústavů, jež shromažďují informace z dlouhodobých měření stavu podnebí v dané lokalitě (např.: průměrný počet slunných dnů v roce)
- Výška nad obzorem a s ní související tzv. „Air mass“ vyjadřující množství vzduchu ležící v cestě slunečním paprskům. Hodnota AM indexu pro polohu Slunce v nádhlavníku je rovna 1.
- Nadmořská výška – souvisí s AM
- Míra znečištění atmosféry – vlivem aerosolů a pevných částic ve vzduchu klesá intenzita záření hlavně v okolí měst a průmyslových aglomerací

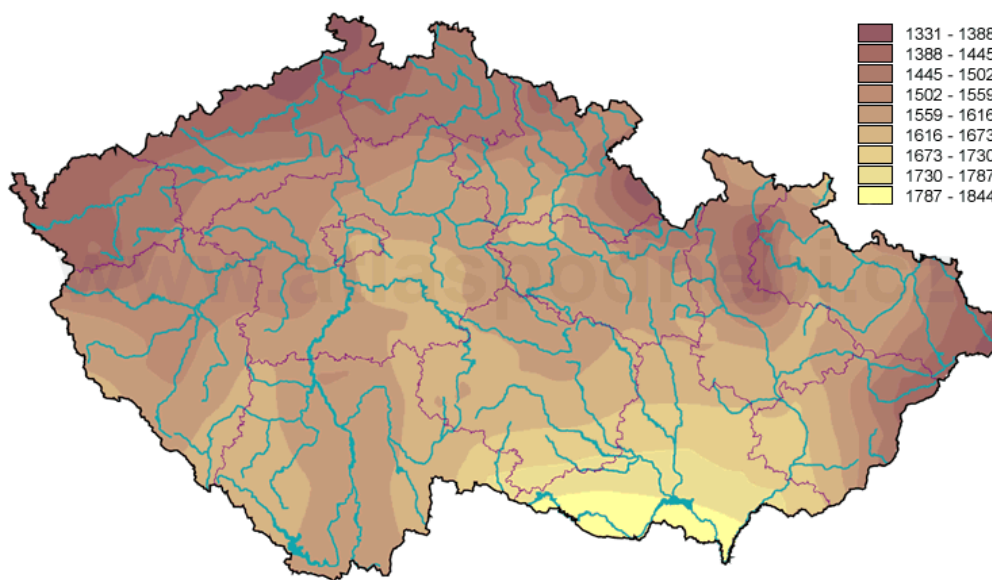
Ke všem těmto faktorům je nutné při projektování solárních systémů přihlížet! [7]

## 1.5 Měření dopadajícího záření, údaje ČR

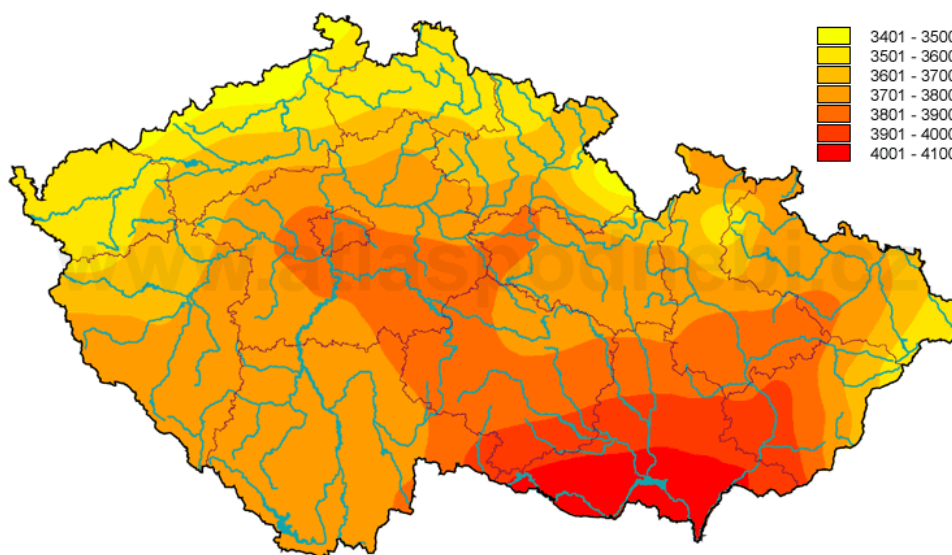
Záření dopadající na vodorovnou či skloněnou plochu kolektoru v daném místě a čase se skládá ze složky přímé a difuzní. Měření probíhající v meteorologických stanicích měří součet těchto dvou složek a z hlediska fungování FV panelů nám nedodává tak kvalitní informace. Navíc meteorologické stanice nejsou vždy v blízkosti naší plánované stavby.

Měření je rovněž důležité k ověření správného fungování našeho solárního systému. Porovnáním výstupních hodnot měření a naměřených výkonů FV panelů, lze určit zda - li nám celý systém funguje správně. Na trhu je celá řada čidel umožňující toto měření.

Celkové množství slunečního záření pro ČR se pohybuje v rozmezí  $3300\text{--}4100 \text{ MJ.m}^{-2}$ . Největších hodnot dosahuje oblast jižní Moravy. Kde průměrná hodnota dosahuje  $4000 \text{ MJ.m}^{-2}$ . Z toho vyplývá nejdelší doba svitu 1800 h za rok.



*Obr. 1: Průměrný roční úhrn doby trvání slunečního svitu [7]*



*Obr. 2: Průměrný roční úhrn globálního záření [ $\text{MJ.m}^{-2}$ ] [7]*

## **1.6 Pohyb slunce po obloze**

S tím jaké množství záření dopadne na plochu FV panelu souvisí nejen výše popsané vlivy, ale také pohyb slunce po obloze, jeho azimut. Pohyb slunce po obloze se mění s roční dobou a zeměpisnou šířkou, je však jasně daný a lze tedy jednoduše vypočítat. Z těchto údajů vycházíme při volbě orientace a sklonu panelů k dosažení maximálního výkonu systému.

## 2 FOTOVOLTAICKÉ SYSTÉMY

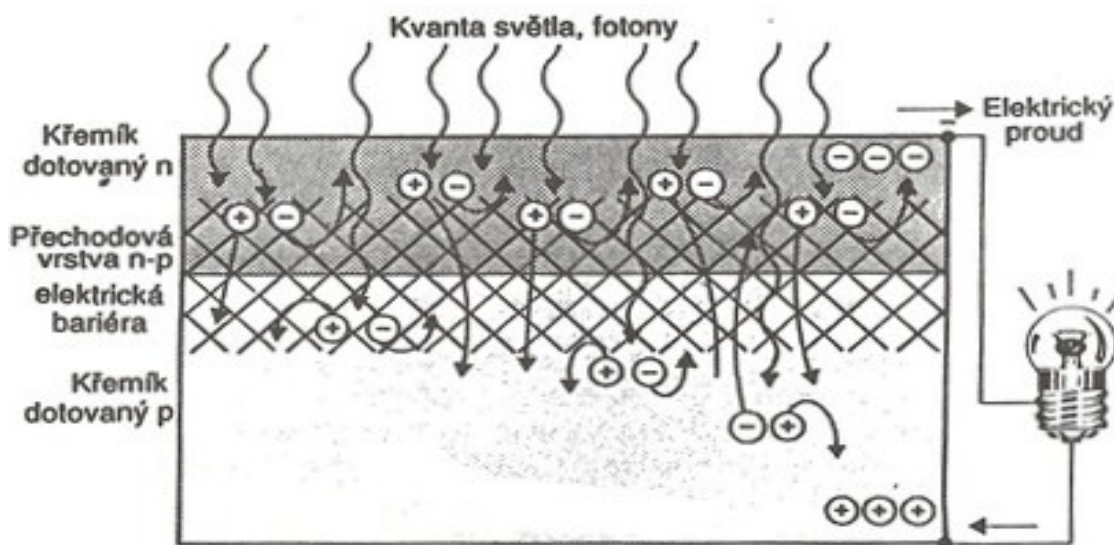
### 2.1 Solární článek a jeho princip fungování

Solární článek je velkoplošný polovodičový konstrukční prvek, schopný přímo měnit energii světla na elektrickou. Proces přeměny je bezemisní. Základ tvoří tenká vrstva polovodiče (např.: křemík) tvořící přechod PN opatřený vhodnými kovovými kontakty. Propojením a zapouzdrněním více solárních článků vzniká **Fotovoltaický panel**.

#### Fotoelektrický jev

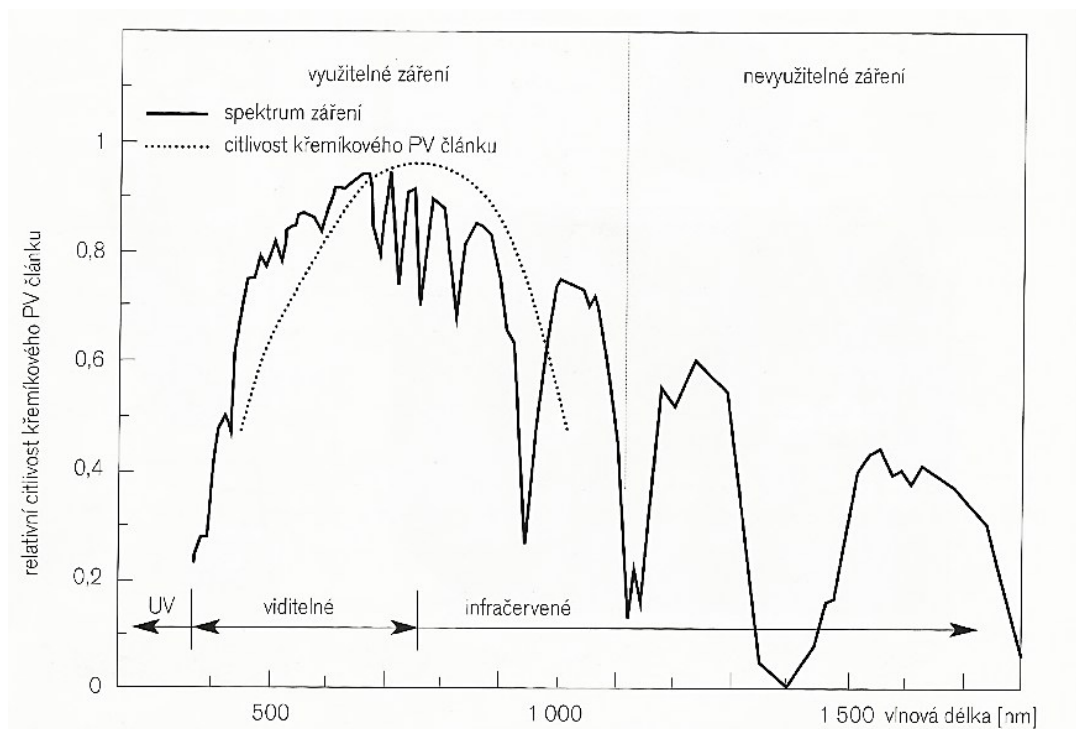
Vzniká při předání energie proudu částic (fotonů), elektronům v kovu či polovodiči. Pokud je energie záření dostatečná, elektron vylétne z povrchu kovu a zanechává po sobě kladný náboj „Díru“. V případě kdy elektron neopustí kov či polovodič je okamžitě přitažen k další díře a jeho energie se uvolní jako nevyužité teplo. Pro princip fungování FV článků potřebujeme usměrnit tok elektronů do spotřebiče, kde předá energii získanou ze slunečního záření a tím vykoná práci. Pro jednoduché oddělení elektronů od děr se využívá vlastností polovodičů. Polovodiče jsou látky, jejichž elektrické vlastnosti jsou na pomezí kovů a izolantů. Elektrické vlastnosti tedy závisí na vnějších nebo vnitřních podmínkách a změnou těchto podmínek se dají snadno ovlivnit. Mezi vnější podmínky řadíme dodání některého druhu energie – tepelnou, elektrickou nebo světelnou. Za změnu vnitřních podmínek považujeme příměs jiného prvku, s větším či menším počtem valenčních elektronů. Pro usměrnění elektronů je nutné v polovodiči vytvořit tzv. P-N přechod. Na bázi P-N přechodu dnes funguje veškerá moderní elektronika. Jako generátor proudu používají solární články téměř výhradně krystalický křemík Si. Krystal křemíku je tvořen pravidelně uspořádanými atomy, které vzájemně drží chemická vazba. Křemík je jako každý atom tvořen jádrem a elektronovým obalem. Elektronový obal si lze představit jako cibuli. Každá slupka představuje energetickou dráhu elektronů v dané vrstvě. Výhoda křemíku spočívá v tom, že rozdíl mezi poslední obsazeným valenčním orbitalem (slupkou) a prvním neobsazeným orbitalem je malý. Stačí mu tedy dodat malé množství energie (např.: ve formě tepla), aby došlo k uvolnění se elektronu do neobsazeného orbitalu neboli vodivostního pásu. Čím větší je dodaná energie tím víc elektronů přestoupí a křemík se stává více vodivým.

Další možností jak zvýšit vodivost křemíku je pomocí příměsí. Příměsí máme typu P (nositeli náboje jsou díry) a N (nositeli náboje jsou elektrony). Vodivost typu N vzniká dopováním křemíku fosforem, jenž má 5 valenčních elektronů oproti křemíku, který má pouze 4. Tím v krystalu nadbývá elektron a zvyšuje se tedy jeho vodivost. Při dopování křemíku borem se 3 valenčními elektrony, vznikne v krystalu díra. Díra se bere jako kladný náboj a tím vzniká vodivost typu P.



Obr. 3: Přechod P-N ve fotovoltaickém článku [4]

Těsným spojením polovodiče typu P a N, vzniká na jejich rozhraní přechod P-N. Když k tomuto přechodu P-N připojíme zátěž (spotřebič) a budeme ho ozařovat světelným tokem (proudem fotonů), v důsledku vzniku volných nosičů náboje v jednotlivých vrstvách a jejich rekombinací, začne obvodem protékat elektrický proud. K vytvoření jednoho volného elektronu je zapotřebí jedno kvantum minimální energie. Každý foton musí nést tuto energii a smí jí předat jen jednomu elektronu. V případě kdy má foton energie víc než je potřeba, vyzáří jí ve formě tepla. Pro fotony platí, že čím kratší je jejich vlnová délka tím nesou větší kvantum energie. Pro elektrony na hranici infračerveného světla je jejich energie 0,5 eV se zmenšující se vlnovou délkou tato energie narůstá až na 2,9 eV u vlnové délky ultrafialového záření. Z toho důvodu lze maximálně využít 55% energie dopadajícího záření. V reálném FV článku, kde je nutno počítat s dalšími ztrátami je jejich účinnost mezi 10-20%. [7]



Obr. 4: Spektrum využití slunečního záření křemíkovým článkem [7]

## 2.2 Materiály pro výrobu solárních článků

Nejběžnějším materiálem pro výrobu solárních článků je křemík. Vzhledem k téměř 50 letému vývoji pro dosažení lepších vlastností solárních článků se lze setkat i s jinými materiály. Jejich výhody a nevýhody si nyní shrneme.

V zásadě rozlišujeme solární články vyrobené z:

- monokrystalu křemíku
- polykrystalu křemíku
- amorfního křemíku
- tenkovrstvých materiálů
- organických látek
- nanostruktur

Organické látky a nanostruktury mají do budoucnosti velký potenciál, zatím však nedokáží konkurovat cenou ani účinností, kterých dosahují monokrystalické a polykrystalické materiály. Tedy z hlediska použití v solárních elektrárnách instalovaných na střechách budov či jako samostatný výrobní celek, se lze zaměřit pouze na první čtyři typy materiálů. [4]

### Články z monokrystalu křemíku

Vyznačují se dobrou účinností (13 až 17 %) a dlouhodobě stabilním výkonem. Patří mezi stále nejvyužívanější druh článků, hlavně pro velké aplikace. Nevýhodou je nutnost použití velmi čistého

křemíku (čistota 99,999 999 9 %). V důsledku vysoké poptávky a náročnosti výroby jeho cena roste a s ní i cena FV panelů.

### **Články z polykrystalu křemíku**

Jako u monokrystalických článků tvoří základ křemíková podložka, avšak složená z většího počtu menších polykrystalů. Tato technologie není tak komplikovaná a umožňuje rychlejší a levnější výrobu článků. Polykrystalické články dosahují účinnosti 12 až 14 %.

### **Články z amorfního křemíku**

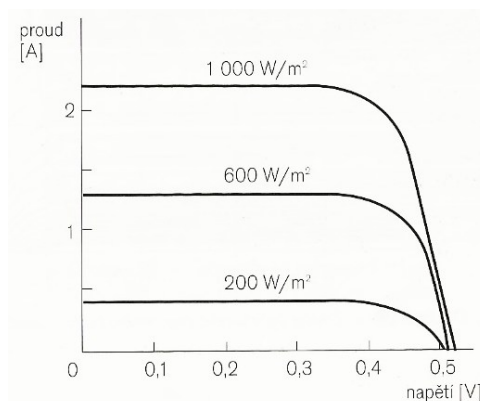
Vyrábí se technologií napařování tenké křemíkové vrstvy na sklo či fólii. Amorfni články dosahují účinností pouze okolo 8% a jejich náročnost na plochu je zhruba 2,5x větší než u poly či monokrystalických článků. Jejich výhodou je celoroční vyšší výnos zhruba o 10% a nízká cena. Umístění najdou tam, kde investor není omezen prostorem.

### **Články z tenkovrstvých materiálů**

K využívání tenkovrstvých článků vedla snaha snížit množství potřebného křemíku a tím snížit cenu výroby. Nevýhodou těchto článků je, že se nevyznačují tak dobrou účinností a jejich účinnost klesá s časem, jsou ovšem mnohem lépe pružné a ohebné. Pro výrobu tenkovrstvých článků se používají sloučeniny GaAS, CID(CuInSe<sub>2</sub>), CdTe a patří mezi ně polykrystalické i amorfni články.

### **Elektrické vlastnosti solárních článků**

Každý solární článek charakterizuje jeho VA charakteristika. Ta je různá pro všechny typy článků a udává průběh napětí a proudu v závislosti na intenzitě dopadajícího světla na jeho plochu. Tyto parametry velkou měrou ovlivňuje pracovní teplota článku a také jeho vnitřní odpor. Pro všechny aplikace je žádoucí, aby výkon článku byl za každých okolností co největší. Vyjdeme-li z rovnice pro výkon  $P=U \cdot I$  a uvědomíme si omezenost parametrů napětí a proudu, kterých je možno dosáhnout u solárního článku, dojdeme k závěru, že pro maximální výkon je třeba hledat vhodný poměr mezi napětím a proudem. Toho si lze všimnout na následující VA charakteristice křemíkového FV článku.[3,4,7]

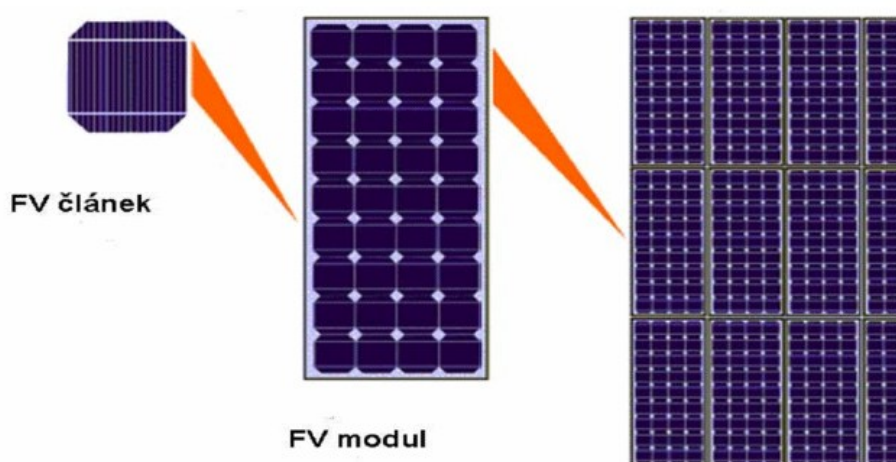


Obr. 5: VA charakteristika křemíkového fotovoltaiického článku [3]



## 2.3 Solární panel

Solární články jako takové nejsou schopny provozu v běžném prostředí. Jsou to komplikované, citlivé a drahé struktury. Vyznačují se vysokou křehkostí a lámavostí. Mají-li plnit funkci řadu let je potřeba je umístit do vhodného ochranného obalu. Tento obal obsahující solární články nazýváme fotovoltaický panel či modul. Abychom dosáhli vhodných elektrických parametrů na výstupních kontaktech panelu je nutno spojování určitý počet článků, jenž bude tvořit daný panel. Napětí článku v závislosti na použitém polovodiči je při maximálním výkonu (tedy optimálním proudu) okolo 0,5 V. Je tedy nutné spojení více článků do série. Zpravidla spojujeme 36 či 72 článků do jednoho panelu. Tímto dosáhneme výstupní stejnosměrné napětí článku 18, respektive 36V.



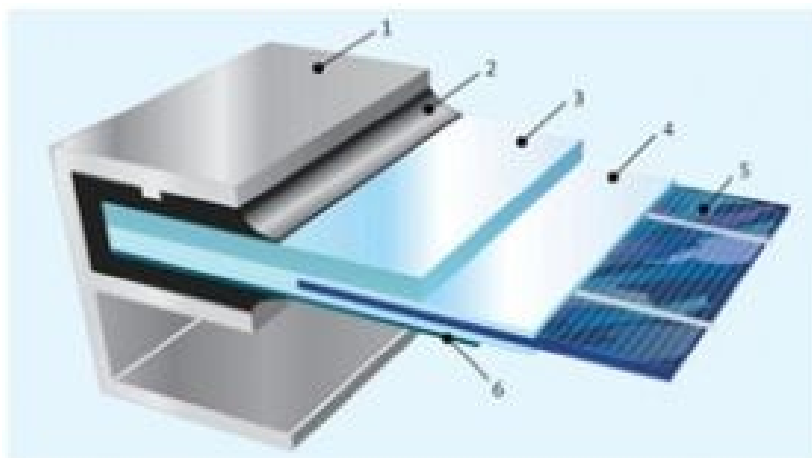
Obr. 6: Ukázka složení FV modulu [7]

Zapouzdření takto spojených článků se provádí v několika vrstvách pro dokonalé utěsnění a ochranu článků před vnějšími vlivy. Atmosféra prozatím tvořila jedinou překážku pro průchod světla. Zapouzdřením panelů se světlu do cesty staví další „překážky“. Proto je nutné zajistit co nejlepší průchod světla těmito vrstvami a nesnižovat účinnost solárních článků. Svrchní vrstvu tvoří u pevných panelů zpravidla kalené sklo. Pro vyšší propustnost v červené a blízké infračervené oblasti světla se používá sklo se sníženým obsahem železa. Na sklo je dále použita antireflexní vrstva, která snižuje odraz světla od panelu. Dále je horní (myšleno strana vystavená Slunci) strana solárního článku vakuově laminován do folií EVA (ethylenvinyl acetát kopolymer). Ta zajišťuje maximální možnou těsnost. Spodní strana je opatřena parozábraná folie. Celý takovýto „sendvič“ je umístěn do hliníkového rámu, který zajistí jeho pevnost pro všechny druhy atmosférického namáhání (sníh, vítr...).[9]

### Konstrukce fotovoltaických panelů:

1. hliníkový rám
2. těsnění

3. tvrzené sklo
4. folie EVA
5. fotovoltaický článek z křemíku
6. vodotěsná folie z umělé hmoty



Obr. 7: Konstrukce FV panelu [2]

## 2.4 Úpravy panelů pro zvýšení účinnosti

### Antireflexní vrstva a textura povrchu

Snížením odrazu světla od povrchu panelu lze zvýšit účinnost až o několik procent. K tomuto účelu využíváme antireflexní vrstvy umožňující lepší pohltivost světla. Jehlanovitou strukturou povrchu zaručíme dobré pohlcení fotonů dopadajících pod malým úhlem a zároveň zabráníme jejich zpětnému úniku při odrazu od spodní vrstvy panelu.

### Oboustranné moduly

Umožňují absorpci světla na horní i spodní straně. Ačkoli není spodní vrstva vystavena přímému slunečnímu záření, může však dále absorbovat jeho difuzní složku. Dále také lze za použití zrcadel neboli koncentrátorů (viz. dále), určitou část přímého záření nasměrovat i na spodní stranu a tím opět zvýšit množství energie dopadající na panel a s tím související účinnost. [7]

## 2.5 Rozšiřující konstrukční prvky pro zvýšení denního výkonu

Mezi takového konstrukční prvky lze zařadit komponenty, na které lze již upravené panely připevnit a dále zvýšit jejich výkon. Hlavním úkolem těchto komponent je zvýšení množství dopadající sluneční energie na panel. Řadíme mezi ně trackery a koncentrátory.

### Natáčení fotovoltaických panelů

Jak již víme, slunce během dne mění svou polohu na obloze. Výkon u FV panelů instalovaných na pevně se tedy během dne mění, s tím jak postupně roste úhel dopadajícího záření. Optimální úhel dopadu na panel je  $90^\circ$ . K tomu abychom zaručili vždy optimální úhel dopadu záření, nám slouží

trackery. Trackery umožňují částečné či úplné natáčení panelů kolmo k dopadajícímu slunečnímu záření.



*Obr. 8: Ukázka trackeru [25]*

### **Koncentrátory**

Jejich základní princip spočívá v koncentraci slunečního záření z větší plochy na menší. Výhodou v případě využití spolu se FV panely, je jejich nízká cena. Koncentrátory jde fakticky rozšířit plocha FV panelu, zvýšit tím jeho výkon a účinnost. Umožňují tím nahrazení levnějších a méně účinných článků, dražšími a účinnějšími v menším počtu. Dělíme je dle hlavních optických prvků pro koncentraci záření na:

- koncentrátory zrcadlové
  - s rovinným zrcadlem
  - s parabolickým zrcadlem
  - CPC
- koncentrátory čočkové
  - běžné spojné čočky
  - Fresnelovy čočky
- koncentrátory založené na jiných principech (např.: dielektrické, fluorescenční)

Dále lze koncentrátory rozdělit na:

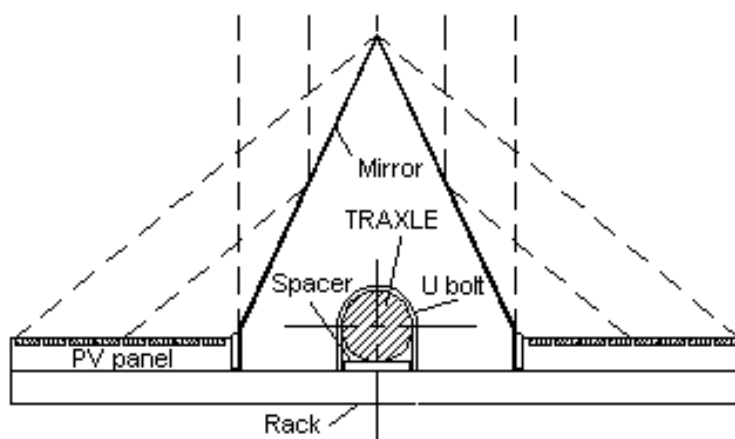
- 3D koncentrátory (soustředí paprsky do bodu)
- 2D koncentrátory (soustředí paprsky do přímky)

### Zrcadlové koncentrátoři:

**S rovinným zrcadlem-** Jednoduchým sloučením trackovacího zařízení TRAXLE s použitím rovinných zrcadel jde u tohoto typu koncentrátorů zvýšit koncentrační poměr na  $C=1,6$ . Princip koncentrace paprsků popisuje obr.10.



Obr. 9: Použití hřebenových koncentrátorů [11]



Obr. 10: Princip rozptylu paprsků systémem hřebenových zrcadel [7]

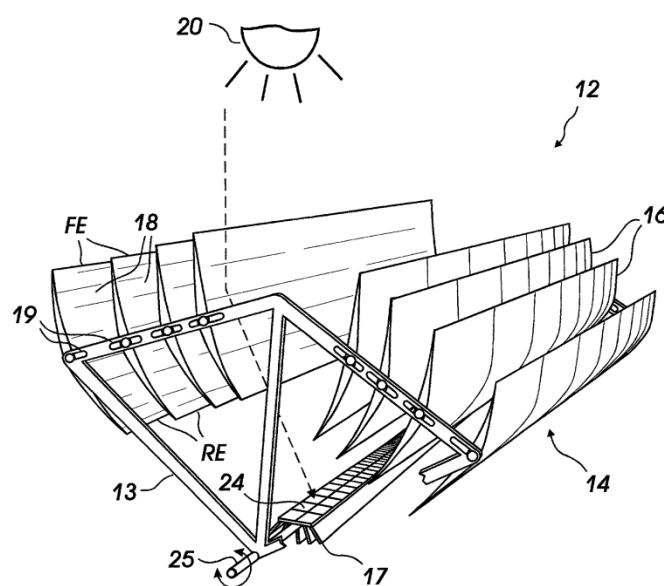
**S parabolickým zrcadlem-**Výhodou parabolických zrcadel je vysoká koncentrace záření do jednoho místa. S tímto však přichází problém vysokého zahřívání panelu, který z tohoto důvodu vyžaduje chlazení.





Obr. 11: Použití parabolického koncentrátoru [12]

**CPC**-Umožňuje zachytit sluneční záření pouze v určitém rozsahu úhlů. Není ho potřeba natáčet za sluncem, ale jeho koncentrace není ve srovnání s parabolickými zrcadly tak velká.

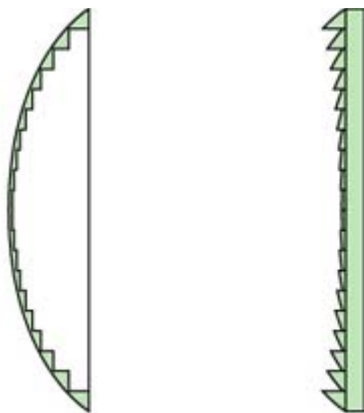


Obr. 12: CPC koncentrátor [1]

### Čočkové koncentrátoři

**Spojné čočky** - jsou levnější než zrcadla.

**Fresnelovy čočky** – rovněž jednodušší na výrobu. Používají se pro tzv. mikrokonzentrátory, kde jejich koncentrace dosahuje úrovně 300-500x. Pro tyto aplikace se počítá s využitím vícepřechodových článků.



Obr. 13: Srovnání spojně čočky (vlevo) a Fresnelovy čočky [15]

Ačkoli se může zdát použití koncentrátorů jako velmi výhodné, má i tato technologie řadu nevýhod.

#### Snížení úhlového rozsahu a nutnost natáčení za sluncem

Konzentrátory snižují úhlový rozsah panelů a brání dobrému využití difuzního záření. Jejich smysl je především tam, kde převládá záření přímé. Jsou vhodné pro lokality s ročním úhrnem větším než  $1700 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$ . Přímé záření lze získat natáčením modulů, je tedy nutné spojení koncentrátor-tracker.

#### Optické ztráty

Zrcadla a čočky nějakou část záření odrazí a pohltí, při tom vznikají ztráty.

#### Rovnoměrnost ozáření

Konzentrátory nedokáží zajistit rovnoměrné ozáření panelů.

#### Zahřívání

Intenzivní ozařování panelů vede k jejich zahřívání. To například u křemíkových článků způsobuje snížení nejen účinnosti, ale také životnosti.

#### Životnost

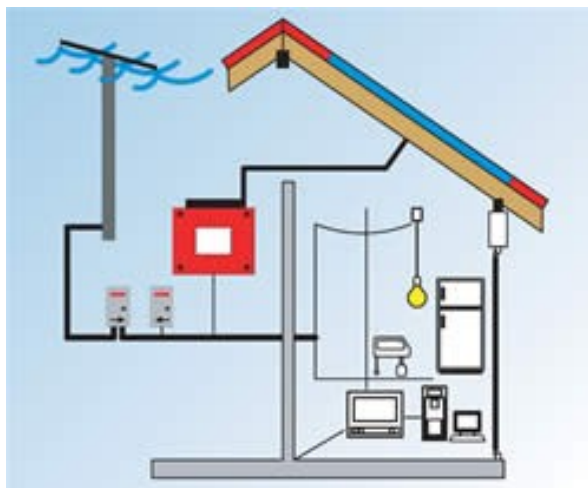
Životnost zrcadel je ve venkovním prostředí omezená a není zdaleka tak dlouhá jako životnost FV panelů.[7]

## **2.6 Druhy instalace solárních systémů**

V zásadě rozlišujeme dva druhy solárních panelů. Panely pro následné připojení do sítě, tzv. GRID-ON, či panely pro ostrovní systémy GRID-OFF.

### **Solární systémy GRID-ON**

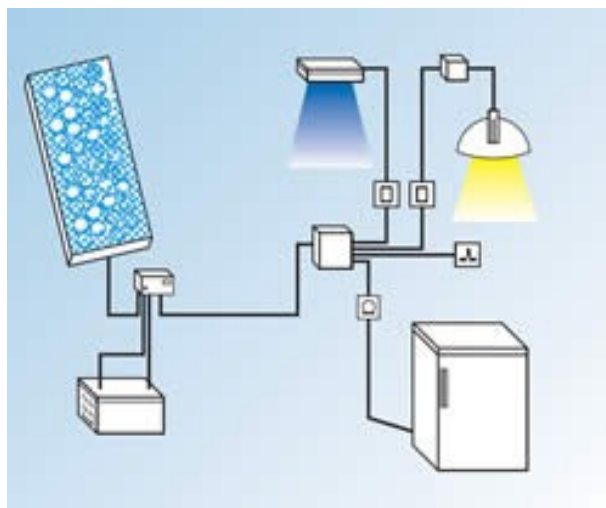
Výhodou těchto systémů je trvalé připojení k veřejné el. síti. V době kdy panely vyrábí el. energii s přebytkem, je energie dodávána do sítě. Naopak v době nedostatečné výroby si energii ze sítě odebírá.



*Obr. 14: Schéma zapojení typu GRID-ON [6]*

### **Solární systémy GRID-OFF**

Systémy GRID-OFF neboli ostrovní systémy jsou takové, jenž se nepřipojují do sítě a vyrobená energie z těchto panelů se spotřebovává ihned, nebo se ukládá do baterií. Využívají se zejména v lokalitách bez přístupu k veřejné elektrické síti (chaty, obytné automobily).[6]



*Obr. 15: Schéma zapojení typu GRID-OFF [6]*

## **2.7 Komponenty a pomocná zařízení pro fotovoltaické systémy**

Pro fungování solárního systému je potřeba dalších zařízení, jenž zajistí jeho úplnou a správnou funkci. Jedná se zejména o bezpečnost zařízení proti poškození zdraví osob či způsobení škod v síti (v případě Grid-on). Dále je nutno zajistit příslušné parametry napětí a proudu, tak aby byly vhodné

pro další užití. V případě Grid-on systému je nutné dodávat do sítě výkon v souladu s normou ČSN EN50160 o „Kvalitě elektrického napětí v distribuční síti ČR“. Systémy Grid-off zase vyžadují akumulátory pro uložení elektrické energie.

Mezi základní komponenty solárních systémů tedy řadíme:

- fotovoltaické panely
- měniče napětí, trafo
- akumulátory
- jisticí zařízení
- ochrana před bleskem
- měřicí zařízení
- kabely a vedení

### **Měniče napětí**

Všechny fotovoltaické generátory pracují se stejnosměrným proudem. Z hlediska kompatibility se sítí a většinou elektrických zařízení je tedy nezbytné přeměnit tento proud na střídavý. Měniče elektrického napětí, umí nejen přeměnit průběh proudu, ale také transformovat jeho napětí na vhodnou napěťovou hladinu. Běžně 230V v případě velkých aplikací i víc, vždy záleží k jaké napěťové hladině je daná aplikace připojena. Průběh proudu záleží na použitém měniči, ovšem pro dodávky do elektrické sítě je nezbytné použít kvalitní měniče se sinusovým průběhem na jeho výstupu. Sinusový průběh o správných parametrech je vyžadován normou a jeho kvalita je přísně kontrolována. Zároveň musí rovněž splňovat parametry pro EMC kompatibilitu.[7]

Pro konkrétní použití se vyrábějí měniče:

- ostrovní
- síťové

Ostrovní měniče generují svůj vlastní kmitočet na uzavřené lokální smyčce, která není propojená s veřejnou rozvodnou sítí. Kmitočet však odpovídá kmitočtu rozvodných sítí obvyklý v průmyslových zemích 50/60Hz.

Síťové měniče umí synchronizovat kmitočet se sítí a jejich napětí odpovídá napětí rozvodné sítě. Je nezbytné aby byly vybaveny odpojovači, které v případě výpadku rozvodné sítě zajistí, že do sítě nebudou dodávat proud, čímž by mohly způsobit ohrožení zdraví pracovníků na těchto sítích.

Technicky lze síťové měniče rozdělit na:

- transformátorové
- beztransformátorové



Mezi vývojově starší patří měniče transformátorové. Jak z názvu vyplývá, používají pro svou práci transformátor. To zajišťuje dobré galvanické oddělení, ale přináší sebou větší hmotnost a vyšší výrobní náklady.

Beztransformátorové měniče využívají ke své práci výkonových polovodičů. Dnes už tvoří majoritní druh měničů na trhu. Jsou levnější a lehčí, vyžadují však vyšší nároky na bezpečnost provozu vzhledem k absenci galvanického oddělení.[9]

### **Akumulátory**

Jsou nezbytnou součástí grid-off instalací. V dnešní době jsou zatím nejvhodnější zařízení pro ukládání elektrické energie. Hlavní vlastností baterií je jejich kapacita a životnost. Tyto dva parametry se významně odrážejí na ceně baterií. Vzhledem k zhruba poloviční životnosti baterií, než je životnost FV panelů, může konečná cena baterií přesáhnout cenu panelů. Vyplývající nutnost výměny baterií v průběhu životnosti instalace vede k tomu, že celkové náklady na baterie mohou tvořit 40-60% celkových nákladů. S tímto je však nutno počítat před samotnou realizací.

#### ***Olověné akumulátory***

Patří mezi nejvíce využívané akumulátory. Jsou dostupné cenou, mají dobrou kapacitu a snadno se udržují. Vyznačují se nízkým prahem samovybití a umožňují rovněž hluboké vybíjení „deep cycle“, což zajišťují jejich masivní olověné desky.

#### ***Alkalické akumulátory***

Řadíme zde akumulátory nikl-kadmiové (Ni-Cd), nikl-metalhydridové (NiMH), nikl-ocelové (Ni-Fe). Ve fotovoltaických systémech nemají takřka žádné využití.

#### ***Lithium-iontové baterie***

V současné době probíhá velký rozmach v užívání těchto baterií. Hlavně ve spotřební elektronice, kde se využívá jejich hlavní výhoda, což jsou malé rozměry a hmotnost (20% oproti olověným akumulátorům). Baterie rovněž netrpí na samovybití a nevyznačuje se „paměťovým efektem“. Na druhou stranu vzhledem k vysoké reaktivnosti lithia, ztrácí baterie rychle na životnosti. U malých aplikací vydrží pouze 1-2 roky. Navíc pro velké aplikace jsou nevhodné svou cenou, který značně převyšuje cenu běžných olověných akumulátorů.[4]

Jako alternativu k akumulátorům lze do budoucna považovat superkondenzátory, které spolu s vývojem nanotechnologií nabývají stále lepších parametrů pro případné nahrazení akumulátorů. Jejich výhodou je, že energii uchovávají v elektrostatickém poli místo v chemické vazbě a tím mohou vydat velké množství energie za zlomek času. Například v současnosti využívá kondenzátorů systém KERS u vozů Formule 1.

Další možností akumulace energie je princip přečerpávacích elektráren. Máme-li jednu nádrž umístěnou výše než druhou a jsou-li oba rezervoáry propojeny potrubím s reverzní turbínou, můžeme

v době přebytku energie čerpat vodu do horní nádrže. Čerpadlo je tedy napájeno z pole FV panelů. Přecherpáním vody do horní nádrže zvyšujeme její potenciální energii. Nádrže je třeba dimenzovat podle velikosti solárního FV systému.

Perspektivní je rovněž akumulace energie do vodíku vyráběného elektrolýzou vody. Jedná se o energeticky náročný proces, který umožňuje právě využití přebytečného výkonu ze solárních FV systémů či větrných elektráren.[9]

### **Jistící a ochranná zařízení**

#### ***Hlavní vypínač stejnosměrného proudu***

Je nezbytné umístit mezi FV generátor a střídač hlavní vypínač stejnosměrného proudu, aby bylo možné v případě poruch nebo při údržbě a opravách komponenty vzájemně oddělit. Je rozumné umístit vypínač co nejbližší střídačům, jako prevence proti zapnutí jinou osobou v době kdy se na střídačích provádí údržba.

#### ***Ochranný spínač vedení střídavého proudu***

Jedná se o nadproudové ochranné zařízení, které lze po aktivaci (rozpojení) opět zapnout. Odděluje FV zařízení automaticky od elektrické sítě, pokud dojde k přetížení nebo zkratu. Často se k tomuto účelu používají samočinné pojistky. Při zapojování je třeba dbát na správné pólování a směr toku energie.

#### ***Proudový chránič***

Proudový chránič sleduje protékající proud v přívodní a zpětné větvi elektrického obvodu. Proudový chránič zareaguje při chybě izolace nebo zkratu jednoho vodiče na zem nebo na kostru. U FV zařízení se střídači bez transformátoru se musí použít proudový chránič citlivý na střídavý i stejnosměrný proud (typ B). Do střídačů bez transformátoru již často bývá integrován. Pokud má FV zařízení odbočku pro spotřebitele před FV vedením pro napájení sítě (FV proud pro vlastní spotřebu), musí se u střídačů bez transformátoru použít dodatečné proudové chrániče typu B, popř. u zařízení s transformátorem proudové chrániče typu A.

### **Ochrana před bleskem**

V běžných případech platí: FV zařízení nezvyšuje ohrožení budovy bleskem. Proto není nutné žádné dodatečné zařízení pro ochranu bleskem.

#### ***Bleskosvodná zařízení***

Zařízení pro ochranu před bleskem slouží především k ochraně osob při přímém zásahu zařízení bleskem. Je-li FV zařízení postaveno na exponovaném místě, je třeba použít vhodné bleskosvodné zařízení. Aby nedošlo k přímému zasažení FV zařízení používají se většinou bleskosvodné tyče. Je přitom potřeba zabránit vrhání stínu na FV moduly. Dále je nutno chránit kabelová vedení a zajistit

co největší vzdálenost mezi stejnosměrným vedením a vedením bleskosvodu. Také by nemělo docházet ke křížení.

### ***Ochrana před přepětím***

Každý úder blesku může v okruhu asi 1 km vytvořit přepětí v elektrických vedeních. Pro maximální ochranu proti přepětí, tak aby indukovaná napětí byla co nejmenší, se pokládají oba vodiče (+ a -) větve co nejbliže k sobě.

U FV zařízení ohrožených bleskem se používají samostatné přepět'ové svodiče (bleskojistky) před a za měničem a v propojovací skříní generátoru.

### **Měřicí zařízení**

K sumarizaci dodaného/přijatého výkonu z a do sítě, jsou solární systémy vybaveny certifikovanými elektroměry a schválený provozovatelem sítě. Údaje z nich jsou nezbytné pro správné vyúčtování cen za elektřinu distributorem, k jehož síti je daná aplikace připojena. Další měřicí zařízení najdeme přímo na měničích, které podle typu ukládají naměřená data či je dokonce dávají online k dispozici přímo na internetu. Lze si tak snadno vytvořit přehled o výrobě elektřiny celého systému.

### **Záložní zdroje**

Ostrovní systémy (Grid-off) závislé na dodávkách elektřiny pouze z FV systémů, je nutné dovybavit záložním zdrojem pro případ, že dojde ke spotřebě energie uložené v akumulátorech v době, kdy systém nevyrábí elektřinu. Nejčastěji se využívá benzín či dieselagregátů (vhodné pro větší výkony), které jsou schopny spolehlivě dodávat potřebný výkon. [8]

## 3 SOLÁRNÍ ELEKTRÁRNY A JEJICH PROVOZOVÁNÍ

### 3.1 Vstupní údaje pro ekonomické zhodnocení

Před samotnou stavbou solární elektrárny je důležité zhodnotit několik ekonomických parametrů, které mají vliv na celkovou výhodnost našeho projektu.

Investiční výdaje - zahrnují veškeré jednorázové výdaje na přípravu stavby, projekty, dodávky technologického zařízení a jeho montáž, stavební úpravy, elektrickou přípojku, popř. i náklady na výkup potřebných pozemků. U rozsáhlejších projektů je třeba dát pozor i na reinvestice, které vznikají periodicky vždy po několika letech v důsledku výměny dosluhujícího zařízení.

Doba životnosti - doba, po kterou bude možno využívat zařízení, tj. dosahovat úspor energie či využívat vyrobený výkon, aniž by bylo nutné znovu vynakládat investiční výdaje na obnovu zařízení.

Provozní výdaje - na obsluhu zařízení, jeho pravidelnou údržbu, předpokládané opravy, režie, pojištění majetku, pozemkové daně a jiné poplatky, nákup paliv a energie včetně dopravy.

Velikost roční produkce energie - ekonomickou efektivnost příznivě ovlivní možnost výroby elektřiny v době špiček, kdy je její cena nejvyšší.

Způsob financování - tj. velikost, doba splacení a úroková sazba poskytnutého úvěru, cena vlastních peněz investora a případné dotace.

Daňové zatížení - jedná se zejména o daň z příjmu u investora, případně také v budoucnu zavedení tzv. „ekologických“ daní. [7]

### 3.2 Způsoby státní podpory FVE v ČR

V současné době jsou předmětem státní podpory pouze FVE do výkonu 30kWp instalované na střeše budovy či v obvodové zdi. Státní podpora se nevztahuje přímo na výstavbu FVE, ale poskytuje dva způsoby garance ceny elektřiny z FVE. A to formou „výkupní ceny“ nebo „zeleného bonusu“. Tyto ceny vydává každý rok Energetický regulační úřad (ERÚ) pro všechny systémy výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů.

Pro přehled uvádím tabulku s vývojem státní podpory, tedy garantované výkupní ceny a zeleného bonusu:

Výkon FVE	Období uvedení zařízení do provozu	Výkupní cena [Kč/1 kWh]	Zelený bonus [Kč/1 kWh]
Do 30 kWp včetně	1.1.2012	6,16	5,08
	31.12.2012		
	1.1.2011	7,50	6,50
	31.12.2011		
	1.1.2010	12,50	11,50
	31.12.2010		
	1.1.2009	13,42	12,42
	31.12.2009		
	1.1.2008	14,30	13,30
	31.12.2008		

Tab. 1: Přehled výkupní ceny a zeleného bonusu v ČR

Snížením podpory se návratnost investice se prodloužila na cca 11 let, což stále umožňuje zajímavé zhodnocení finančních prostředků cca 9% ročně. Pro střešní instalace lze tedy konstatovat, že ani nová pravidla nezvýšila návratnost investice do FVE na 15 let, se kterými původně v roce 2005 zákon o podpoře OZE počítal.

#### Garance výkupní ceny

Systém je založen na dodávce veškeré produkce do distribuční sítě za státem garantovanou cenu. Výše ceny je smlouvou garantována na dobu 20 let a to ve výši platné v době spuštění FVE. Cena také podléhá každoroční valorizaci o cca 2 až 4 %.

#### Zelený bonus

Výrobce obdrží tzv. zelený bonus (částka navyšující tržní cenu elektřiny, která zohledňuje snížené poškození životního prostředí využitím obnovitelného zdroje) za veškerou energii, kterou vyrobí, včetně té co sám spotřebuje. Výše bonusu je opět smluvně vázána na 20 let od spuštění FVE. Na odkup přebytku výroby je však nutné si najít odběratele, který daný přebytek odkoupí.

### **Daňové úlevy**

U fotovoltaických instalací na rodinných domech, bytových domech, panelových domech a podobně platí § 48 zákona o dani z přidané hodnoty. Platí zde tedy snížená 14 % sazba DPH a to jak na montážní práce, tak na samotné technické prostředky fotovoltaické elektrárny. [14;22]

### **3.3 Ekonomická návratnost**

Jedním z ukazatelů výhodnosti investice je tzv. prostá doba návratnosti. Jedná se o zjednodušený výpočet doby návratnosti naší investice do OZE. Je založen na podílu veškerých investičních nákladů a rozdílu ročních příjmů (výnosů) z realizace.

Pro výpočet ročních výnosu jsou všechna data jasná a měřitelná. Díky garanci výkupní ceny státem lze poměrně přesně určit, v jakém časovém horizontu se investice vrátí.

Pro výpočet návratnosti je nezbytné znát hlavně:

- Celkovou výši investice
- Přepokládané množství získané energie v kWh
- Výkupní cenu

Ještě je vhodné zde zařadit roční provozní náklady, které odečteme od ročního výnosu. Vzhledem k tomu, že FVE jsou takřka bezúdržbové, jsou tyto náklady velmi nízké.

### **Investiční náklady**

Základním faktorem ovlivňující investici je rozměr plochy pro umístění FV panelů. Od tohoto se odvíjí velikost instalovaného výkonu, jež na dané ploše můžeme dosáhnout. Mezi výkonem a cenou elektrárny není přímá úměra, protože obecně platí, čím vyšší bude instalovaný výkon, tím nižší budou náklady na instalovaný kWp.

### **Množství získané energie**

Vzhledem k dlouhodobému měření slunečního záření, počtu bezoblačných dní a také účinnosti panelů a dalších komponent jsme schopni určit průměrné množství vyrobené elektrické energie kdekoli v ČR.

Uvažujeme-li účinnost panelu 14% orientovaných k jihu, získáme  $140\text{kWh/m}^2$  elektrické energie ročně. Pro výpočet použijeme plochu odpovídající instalovanému výkonu 1kWp. Monokrystalické panely dosahují 1kWp přibližně na cca  $8\text{m}^2$ , platí tedy že  $140\text{kWh} \cdot 8\text{m}^2 = 1120\text{kWh/m}^2/\text{rok}$ . Po odečtu ztrát (vedení, inverter, úhlová odrazivost) dostaneme se na reálných cca 1000kWh vyrobené elektrické energie z jednoho kWp instalovaného výkonu za rok. [14]

### **3.4 Doba životnosti solární elektrárny**

Doba životnosti elektrárny je omezená hlavně životností jejích fotovoltaických článků. Technická životnost se udává mezi 30 až 35 lety. Postupem času vlivem degeneračních procesů v článku jeho výkonnost klesá. Garantovaný výkon článků v čase je udáván jednotlivými výrobci. Ve většině případů se pohybuje garantovaný výkon článků na 90% po dobu 12 let a 80% po 20 letech. Životnost měničů je posuzována z hlediska záruky výrobců. Zpravidla se pohybují na hranici 5 let s možností rozšíření na 10 a více. [2;8]

### **3.5 Ekologie**

#### **Energetické nároky výroby**

Zatížením životního prostředí je jedna z otázek, která se diskutuje u FVE. Jedná se nejen o výrobu článků, ale hlavně o jejich likvidaci. V procesu výroby článků záleží množství potřebné energie na technologii výroby. Krystalické články vyžadují velmi čistý křemík, jehož získání je velice energeticky náročné. Celková spotřeba energie na výrobu článků o hodnotě jeden kWp se pohybuje okolo 9000 kWh. U tenkovrstvých článků je spotřeba zhruba poloviční. Pro srovnání dle výroční zprávy ŠKODY AUTO a.s. z roku 2009, celková spotřeba energie na výrobu jednoho auta v automobilce činí 2000kWh.

Další energetické výdaje náleží výrobě hliníkových rámců, měničů a samotné montáže kde se suma potřebné energie pohybuje okolo 3500kWh. [23]

#### **Likvidace panelů**

Abychom nemuseli řešit stejnou otázku jako pan Neruda ve svém fejetonu „Kam s ním?“. Je třeba řešit otázku likvidace panelů, již nyní. Protože předpokládaný nárůst množství odpadů pocházející z vysloužilých FVE se očekává až kolem roku 2025 je dostatek času se na tuto situaci připravit. V tomto duchu vzniklo v Německu sdružení výrobců solárních modulů „PV cycle“, které plánuje zpětné odbírání a opětovné zhodnocení FV modulů a tím jejich optimální likvidaci a recyklaci.

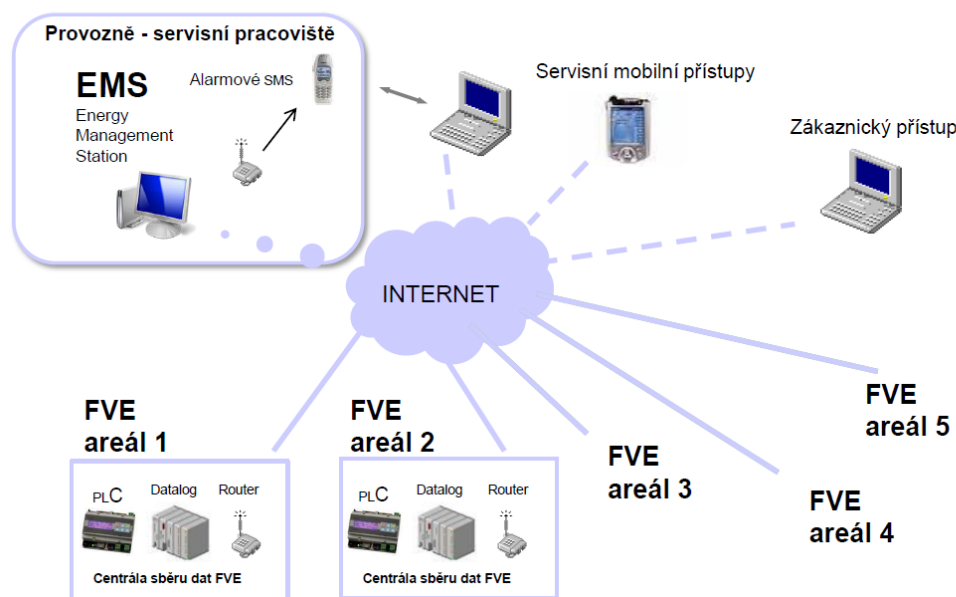
V saském Freinbergu již také vyrostlo pilotní zařízení pro recyklaci FV modulů. Moduly se ve speciální peci při teplotě 500°C rozkládají na jednotlivé složky. Výstupem je pak křemík, hliník a sklo. Další úpravou je možné vyrobit další panely o nižší účinnosti, ale asi s 20% energetickou náročností oproti běžné výrobě. [8;19]

### 3.6 Provoz a monitoring FVE

Každý majitel FVE má k dispozici aktuální data ze své elektrárny. Měření a uchování dat je nezbytné ke správnému fungování elektrárny. Jejich analýza funguje jako prevence proti špatnému fungování elektrárny a k bleskové reakci na vzniklou situaci. Předchází se tak vzniku škod v důsledku sníženého výkonu elektrárny a tím menším ziskům.

Měřená data poskytují především měniče. Ty podle typu, poskytují možnost připojení dalších zařízení, jako jsou čidla či alarmy. Data z vstupů a výstupů měniče se ukládají do tzv. datalogerů. Zpracování dat probíhá pomocí vhodného softwaru, zpravidla dodávaného výrobcem měniče. Tento software také obsahuje uživatelské rozhraní pro snadnou prezentaci dat. Zobrazují informace především přímo na samotném měniči, obsahující např. display (u některých levnějších měničů se může jednat pouze o LED indikátory). Některé dražší měniče pak nabízejí možnost propojení s PC pomocí portu RS232 či USB. Vrcholem je pak online připojení měničů k internetu nebo GSM.

#### TOPOLOGIE SPRÁVY VÍCE FVE s centrálním dispečerským systémem (EMS)



Obr. 16: Příklad topologie správy více FVE [20]

Online sdílení dat pak umožňuje uživateli kdykoli nahlédnout na aktuální stav elektrárny, zobrazovat grafy za libovolné časové období, či rovnou vidět výnos elektrárny. GSM konektivita nám nejlépe zajistí okamžité upozornění uživatele na výskyt chyby, posláním informační textové zprávy SMS na jeho mobilní telefon. Monitoringu elektráren se dnes věnuje nejedna firma, zpravidla spjatá s jejich stavbou. K jejich know-how patří zejména systém odhalování chyb v systému. Jejich okamžitou reakcí na chybu systému je pak vyslání technika na místo, tak aby problém byl vyřešen



co nejrychleji. Výhodou může být provádění oprav v noci, kdy elektrárna nevyrábí a tím předejít její odstávce.

[Zobrazit elektrárny na mapě](#) nepřihlášen [Přihlásit](#)

Název elektrárny	Město	Okres	Výkon	až	kW	Typ panelů	Hledat
<a href="#">Brniště</a>	Brniště	Česká Lípa	415			CEEG 240-60M	
<a href="#">Jablonec - Milířová</a>	Jablonec nad Nisou	Liberec	5				
<a href="#">Korund Benátky, s.r.o.</a>	Mnichovo Hradiště		11			LDK 230Wp	
<a href="#">Liberec-Hluboká</a>	Liberec	Liberec	4.84			MEGA SOLAR 220W	
<a href="#">Libouchec</a>	Tisá	Ústí nad Labem	29.7				
<a href="#">Nová Paka</a>	Nová Paka	Jičín	7.9			CEEG	
<a href="#">Obec Bozkov</a>	Bozkov	Semily	14			230 - 235 p	
<a href="#">SARECO - Velké Hamry</a>	Bohdalovice	Liberec	100			Phono solar 230P	
<a href="#">Solar time 4.83</a>	Liberec	Liberec	4.83			Mage 230 W	-25 35
<a href="#">Varnsdorf II</a>	Varnsdorf	Děčín	5				
<a href="#">Varnsdorf I</a>	Varnsdorf	Děčín	5				
<a href="#">Vesec</a>	Liberec	Liberec	4.8				
<a href="#">ZŠ a MŠ Libouchec 15.18 kWp</a>	Libouchec	Ústí nad Labem	15.18			Phono solar 230P	

Legenda: ● Dataloger online, měnič v provozu ● Dataloger online, měnič mimo provoz ● Dataloger je offline

Obr. 17: Uživatelské online rozhraní-volba elektrárny [17]

[Seznam elektráren](#) [Přehled](#) [Statistiky](#) [Detailní grafy](#) [Stáhnout gadget](#) nepřihlášen [Přihlásit](#)

**Výkon elektrárny za posledních 12 hodin (kW)**

**Informace o elektrárně**

Typ panelů CEEG 240-60M  
Odklon od jihu °  
Sklon panelů °  
Instalovaný výkon 415 kWp

Aktuální stav	Vyrobená energie	Výnosy	Ušetřeno CO <sub>2</sub>
Momentální výkon <b>257.28 kW</b> 62 %	Dnes <b>702.58 kWh</b>	Dnes <b>8887.64 Kč</b>	Dnes <b>491.81 kg</b>
	Tento měsíc 40111.91 kWh	Tento měsíc 507415.66 Kč	Tento měsíc 28078.34 kg
	Tento rok 89389.75 kWh	Tento rok 1130780.34 Kč	Tento rok 62572.83 kg
	Celkem 457974.84 kWh	Celkem 5793381.73 Kč	Celkem 320582.39 kg

**Výroba energie tento měsíc**

**Stav střídače #10**

Stav	Run				
AC výkon	10.56 kW	DC proud	13.37 A	DC napětí	409.81 V
AC proud	13.88 A	Frekvence sítě	50.00 Hz	Teplota měniče	52.673 °C

**Stav střídače #11**

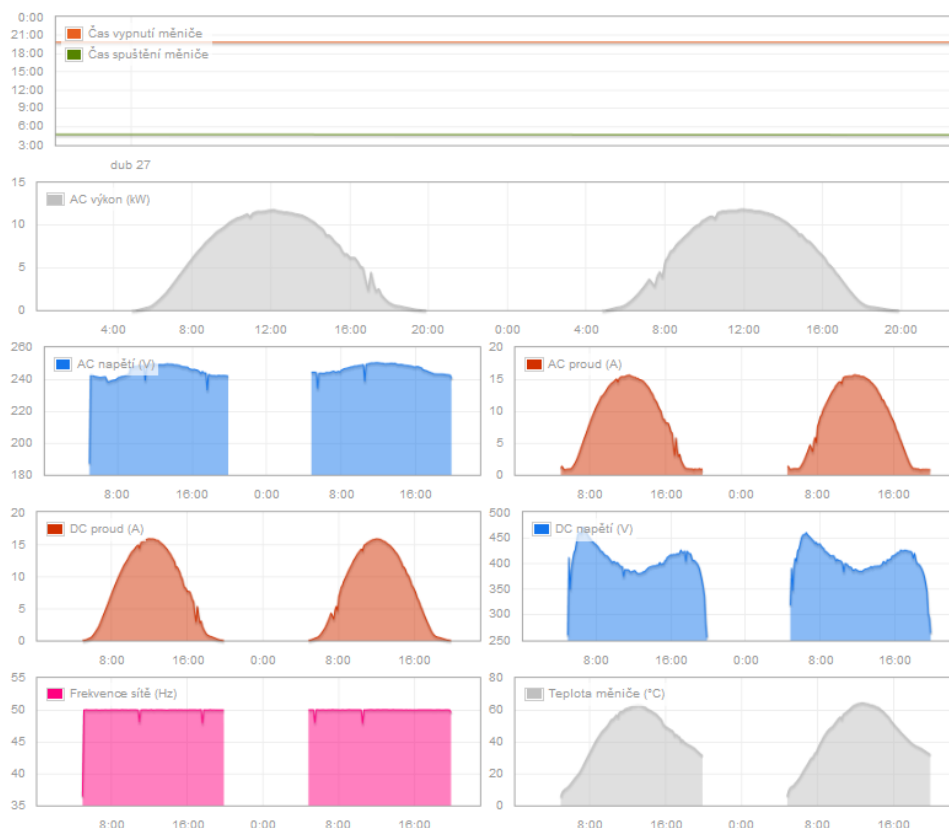
Stav	Run				
AC výkon	7.46 kW	DC proud	9.44 A	DC napětí	423.91 V
AC proud	9.65 A	Frekvence sítě	50.00 Hz	Teplota měniče	47.219 °C

**Stav střídače #12**

Stav	Run				
AC výkon	10.64 kW	DC proud	13.24 A	DC napětí	412.44 V
AC proud	13.82 A	Frekvence sítě	50.00 Hz	Teplota měniče	52.333 °C

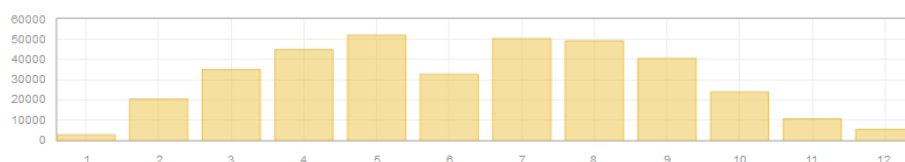
Obr. 18: Uživatelské online rozhraní- detail elektrárny Brniště [17]

Zobrazit data měniče  od  0:00 do  23:00



Obr. 19: Uživatelské online rozhraní – grafy naměřených veličin [17]

Měsíční statistiky



Období	Vyrobená energie
Leden 2011	2597.13 kWh
Únor 2011	20310.75 kWh
Březen 2011	34992.09 kWh
Duben 2011	44861.82 kWh
Květen 2011	51948.33 kWh
Červen 2011	32614.43 kWh
Červenec 2011	50151.96 kWh
Srpen 2011	49126.97 kWh
Září 2011	40417.01 kWh
Říjen 2011	23854.52 kWh
Listopad 2011	10623.84 kWh
Prosinec 2011	5373.21 kWh

Obr. 20: Uživatelské online rozhraní – měsíční statistika výroby [17]

## 4 ANALÝZA NAMĚŘENÝCH DAT

Analýzou projdou reálná data měřená na daném zařízení po celý rok 2011. Pro zobrazení výstupů bude použit Microsoft Excel 2010. Pro názornost a lepší orientaci budou vybrána data na níž jsou nejlépe zobrazitelné vlastnosti elektrárny. Posouzením projde výkon a účinnost tohoto zařízení v závislosti na ročním období, teplotě a denní době.

### 4.1 Popis zařízení

Zařízení je tvořeno soustavou 1530 panelů BP Solar 230 umístěných na střeše budov E,F,G a H v areálu VŠB-TUO. Panely leží na nosné konstrukci pod úhlem  $25^\circ$  a směřují k jihu (azimut  $200^\circ$ ). Panely zabírají celkovou plochu  $2480 \text{ m}^2$ . Výkon celého zařízení je 350 kWp. V soustavě je použito 22 měničů Danfoss TLX15 a jeden měnič AEG. Ke každému měniči Danfoss TLX15 jsou připojeny 3 stringy. Každý string tvoří 23 sériově spojených panelů. Výstupní výkon každého měniče je 15870 Wp. Měnič AEG má stringy pouze dva po šesti kusech, jeho výkon je 2760 Wp. Rozvod z jednotlivých měničů je veden do rozvodu energetiky na jednotlivých budovách. Měření probíhá na hlavním 4-kvadrantovém elektroměru školy v budově těžkých laboratoří HARD.



*Obr. 21: Umístění elektrárny na budovách E,F,G a H v areálu VŠB-TUO (modře vyznačeno umístění panelů)[13]*

### 4.2 Solární panely BP Solar 230

Panel je složený z 60 polykrystalických článků  $156 \times 156 \text{ mm}$  zapojených v sérii. Celkový rozměr panelu je  $1000 \times 1667 \times 50 \text{ mm}$ . Rám je hliníkový, svrchní vrstvu tvoří 3,2 mm vysoce propustné sklo. Připojení panelu zajišťuje  $4 \text{ mm}^2$  silný kabel s konektorem MC4. Ochrana IP 67.

	(1) STC 1000W/m <sup>2</sup>	(2) NOCT 800W/m <sup>2</sup>
Maximální výkon ( <i>P<sub>max</sub></i> )	230W	165.6W
Napětí při <i>P<sub>max</sub></i> ( <i>V<sub>mpp</sub></i> )	29.1V	25.9V
Proud při <i>P<sub>max</sub></i> ( <i>I<sub>mpp</sub></i> )	7.90A	6.32A
Proud nakrátko ( <i>I<sub>sc</sub></i> )	8.40A	6.80A
Napětí naprázdno ( <i>V<sub>oc</sub></i> )	36.7V	33.4V
Účinnost	13.8%	
Tolerance	3/+5%	
Jmenovité napětí	20V	
Snížená účinnost při 200W/m <sup>2</sup>	<5% snížení (účinnost 13.1%)	
Omezený zpětný proud	8.40A	
(3) NOCT	47±2°C	
Maximální proud pojistkou	20A	
(1) STC – Standartní testovací podmínky (osvit 1000W/m <sup>2</sup> ; AM 1,5; teplota panelů 25°C)		
(2) NOCT – Hodnota při jmenovitá provozní teplotě článku (osvit 800W/m <sup>2</sup> ; AM 1,5; 1m/s rychlosti větru)		
(3) NOCT – Jmenovitá provozní teplota článku		

Tab. 2: Elektrické vlastnosti panelu BP Solar 230

### 4.3 Měníč Danfoss TLX 15

Jedná se o 3 fázový beztransformátorový měnič s vysokou účinností 98% .

<b>SPECIFIKACE:</b>	<b>15 KW</b>
Jmenovitý výkon DC	15500 W
Maximální doporučený FV výkon	17700 Wp
Jmenovitý proud AC	15000 W
Maximální výkon AC	15000 w
Maximální účinnost	98 %
Euro účinnost	97,4 %
Noční spotřeba	< 5W
<b>NAPĚTÍ:</b>	
Maximální napětí DC	1000V
Jmenovité napětí DC	700 V
Napěťový rozsah DC	430-800 V
Napěťový rozsah AC	3×230 V ± 20%
Síťová frekvence	50 ± 5 Hz
<b>PROUD:</b>	
Maximální proud DC	3×12 (36) A
Jmenovitý proud AC	3×22 A
Maximální proud AC	3×22 A
Zkreslení (THD %)	< 5 %

Tab. 3: Elektrické vlastnosti měničů Danfoss TLX 15 [24]

### 4.4 Teoretický výkon zařízení daný polohou

Pro výpočet orientačního ročního výkonu zařízení lze použít jednu z mnoha internetových kalkulaček. Tento nástroj umožňuje po zadání vstupních údajů vyhodnotit kolik elektrické energie může dané zařízení potencionálně vyrobit. Tím si značně ulehčíme práci při výpočtu doby návratnosti.

Mezi základní vstupní údaje patří materiál solárních panelů, špičkový výkon, poloha, sklon a azimut. Pro přesnější výpočet se také uvádí odhadované ztráty zařízení v procentech. Zahrnují hlavně ztráty v měničích a rozvodech FVE. U současných elektráren se pohybují okolo 8%. Další funkcí kalkulačky je také optimalizace azimutu a sklonu panelů. Z toho vyplývá, že právě pro takové nastavení panelů lze dosáhnout maximální účinnosti v závislosti na poloze. Poloha se zadává pomocí GPS souřadnic, které jsou dnes běžně zjistitelné na internetu.

**JRC**  
Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps

EUROPA > EC > JRC > IES > RE > SOLAREC > PVGIS > Interactive maps >

Search: e.g., "Ispra, Italy" or "45.256N, 16.9589E"  
49°49'55.862"N, 18°9'44.486"E

cursor position: 49.744, 18.173  
selected position: 49.832, 18.164

**PV Estimation** | Monthly radiation | Daily radiation

**Performance of Grid-connected PV**  
NOTE: new version of PVGIS available here.  
Read about it.

PV technology: Crystalline silicon  
Installed peak PV power: 350 kWp  
Estimated system losses [0;100]: 8 %

**Fixed mounting options:**  
Mounting position: Free-standing  
Slope [0;90]: 25 °  
Azimuth: 20 °  
☐ Optimize slope  
☐ Also optimize azimuth

**Tracking options:**  
☐ Vertical axis  
☐ Inclined axis  
☐ 2-axis tracking  
Slope [0;90]: 0 °  
Slope [0;90]: 0 °

**Output options:**  
☐ Show graphs  
☐ Show horizon  
☒ Web page  
☐ Text file  
☐ PDF

**Calculate** [help]

Obr. 22: Kalkulačka teoretického výkonu zařízení - rozhraní pro zadání vstupních údajů

Vyhodnocení probíhá na základě statistických údajů o době slunečního svitu v místě stavby spolu s údaji o poloze a výkonu panelů. Výstupem je tabulka s předpokládaným ročním a měsíčním výkonem elektrárny. Porovnáním těchto vypočtených údajů s reálnými lze posoudit, zda elektrárna pracovala v daném roce nad nebo pod předpokládaným ročním výkonem.[16]

Fixed system: inclination=25°, orientation=20°				
Month	$E_d$	$E_m$	$H_d$	$H_m$
Jan	340.00	10500	1.07	33.2
Feb	543.00	15200	1.74	48.8
Mar	1010.00	31400	3.32	103
Apr	1440.00	43200	4.92	148
May	1490.00	46300	5.28	164
Jun	1520.00	45600	5.44	163
Jul	1460.00	45100	5.26	163
Aug	1430.00	44300	5.12	159
Sep	1080.00	32500	3.75	113
Oct	702.00	21800	2.37	73.3
Nov	415.00	12400	1.35	40.4
Dec	337.00	10400	1.07	33.2
Yearly average	983	29900	3.40	103
Total for year		359000		1240

Tab. 4: Vyhodnocení teoretického výkonů FVE

Z tabulky vyplývá, že přepokládaný výkon celé elektrárny je 359 MWh za rok. Parametr  $E_d$  udává průměrný denní výkon,  $E_m$  pak měsíční v kWh.

#### 4.5 Teoretický výkon elektrárny při použití dvouosého trackeru

Zvýšení celkového výkonu elektrárny lze dosáhnout použitím trackerů, neboli natáčení panelů za sluncem. Vybudování tohoto systému sebou nese další náklady a aplikace je náročnější na požadovanou plochu. Proto se příliš pro instalaci na střeše budovy nehodí. Nespornou výhodou však je nárůst výkonu celého systému. Díky naší internetové kalkulačce si lze jednoduše ukázat o kolik MWh ročně, by mohl vzrůst výkon naší FVE v případě zanedbání vlivu instalace trackerů na plochu panelů.

2-axis tracking system				
Month	$E_d$	$E_m$	$H_d$	$H_m$
Jan	441.00	13700	1.37	42.6
Feb	684.00	19100	2.19	61.4
Mar	1290.00	40100	4.23	131
Apr	1890.00	56600	6.41	192
May	1940.00	60300	6.79	211
Jun	1960.00	58700	6.93	208
Jul	1870.00	57800	6.67	207
Aug	1880.00	58200	6.67	207
Sep	1380.00	41300	4.74	142
Oct	913.00	28300	3.07	95.2
Nov	554.00	16600	1.78	53.3
Dec	413.00	12800	1.31	40.6
Yearly average	1270	38600	4.36	133
Total for year		464000		1590

Obr. 23: Vyhodnocení teoretického výkonu FVE při použití dvouosého trackeru

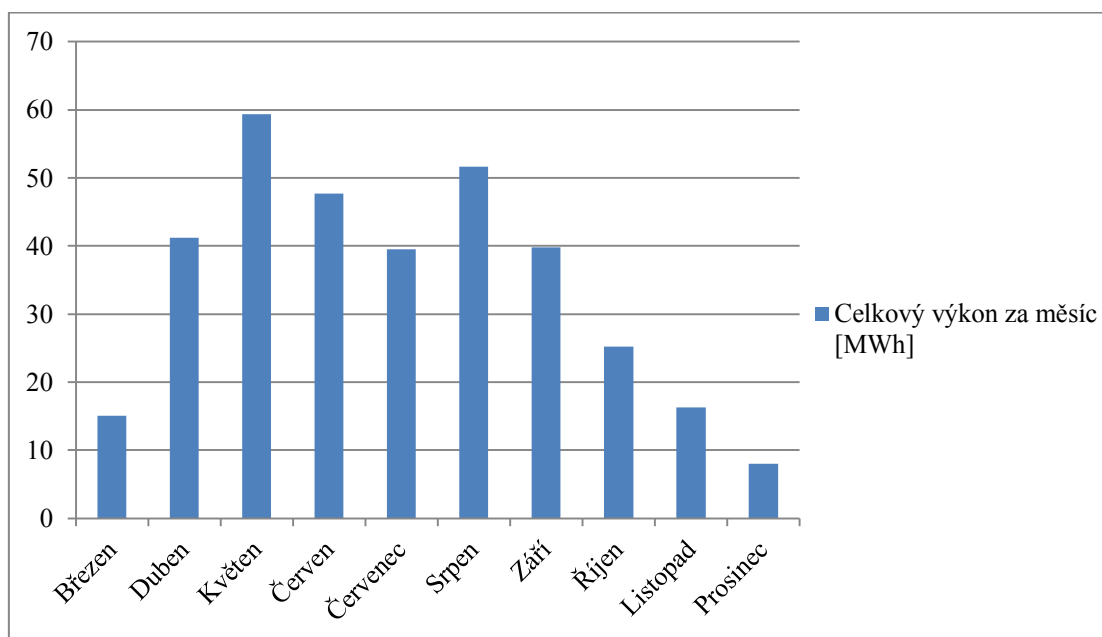
Porovnáním výsledků FVE při použití trackovacího systému, docházíme k nárůstu ročního výkonu o 29% tj. 105 MWh. V případě výkupní ceny 14,2 Kč/ kWh by pak roční výnos systému vzrostl o 1 491 000 Kč!

## 4.6 Skutečný roční výkon FVE

Vyhodnocení skutečných naměřených dat je uvedeno v tabulce. Tabulka zobrazuje výkon celé elektrárny za jednotlivé měsíce roku 2011, kdy elektrárna vyráběla. Dále jsou uvedeny průměrné venkovní teploty a teploty panelů.

	<b>Celkový výkon za měsíc [MWh]</b>	<b>Průměrný výkon na den [MWh]</b>	<b>Průměrné teploty [°C]</b>	<b>Průměrná teplota panelů [°C]</b>
<b>Březen</b>	15,11	0,49	11,18	12,40
<b>Duben</b>	41,18	1,37	14,42	16,87
<b>Květen</b>	59,32	1,91	19,07	22,33
<b>Červen</b>	47,72	1,59	23,39	26,52
<b>Červenec</b>	39,53	1,28	22,66	25,73
<b>Srpen</b>	51,63	1,67	24,65	28,08
<b>Září</b>	39,76	1,33	21,39	24,02
<b>Říjen</b>	25,23	0,81	13,56	14,62
<b>Listopad</b>	16,26	0,54	7,90	8,31
<b>Prosinec</b>	8,06	0,26	7,44	7,24
<b>Celkem</b>	343,79			

Tab. 5: Vyhodnocení ročního výkonu FVE po měsících



Obr. 24: Graf ročních výkonů FVE po měsících

Porovnáním tabulek je jasně viditelné, které měsíce byly nadprůměrné a které naopak. Je to samozřejmě způsobeno vlivem počasí. Údaje k teoretickému výpočtu jsou brány z dlouhodobého průměru, tedy v případě porovnávání dat za delší období, bychom dostali na stejné výsledky.



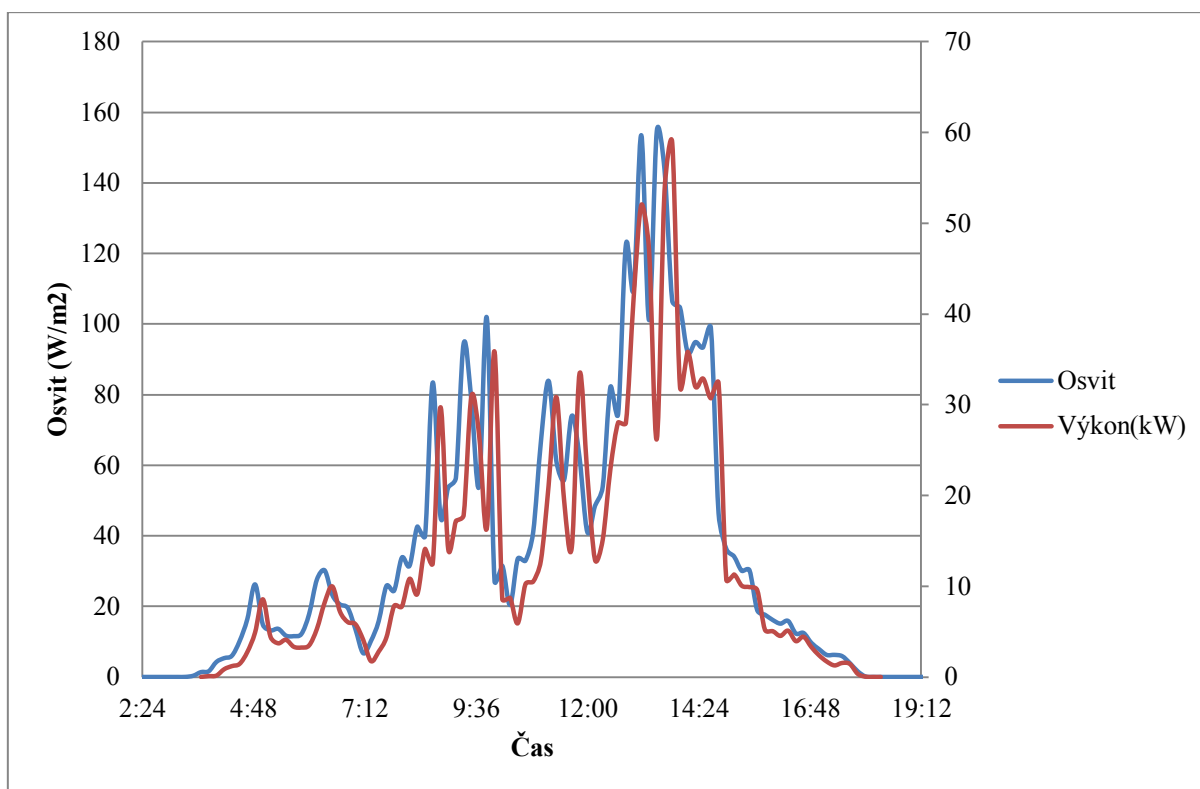
Sečtením teoretických výkonů za období březen až prosinec dojdeme k výkonu 333,3 MWh. Tedy při porovnání s reálnými daty elektrárny lze vidět, že dané období bylo výrobně nadprůměrné. Elektrárna vyrobila zhruba o 10MWh nad teoretickým dlouhodobým průměrem. V některém s příštích let je však nezbytné očekávat výrobu podprůměrnou, dojde tedy ke kompenzaci.

Je nutno upozornit, že měřená data za období měsíce března jsou měřena od 22. 3. 2011. Data obsahují výrobu pouze za 9 dní. V celkovém výsledku lze tedy počítat ještě s větším celkovým výkonem za dané období.

#### 4.7 Výkon soustavy v závislosti na osvitu

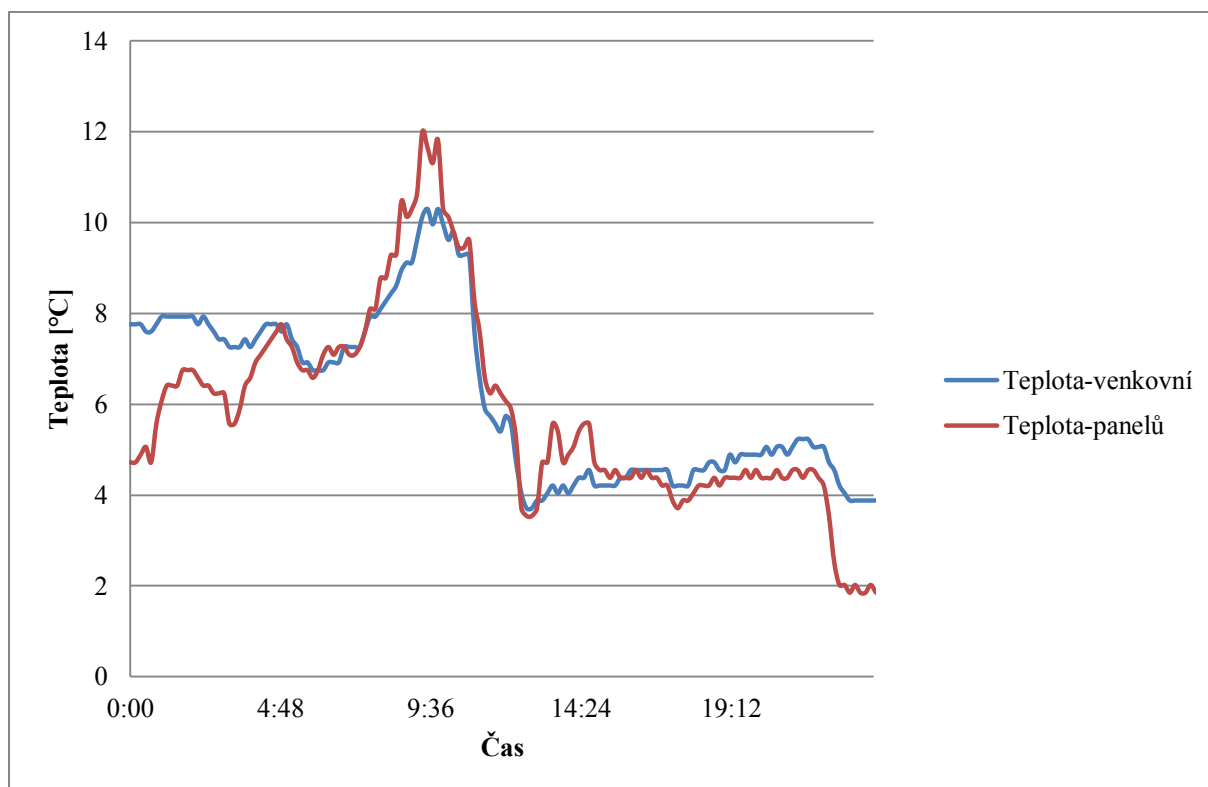
Nejdůležitějším faktorem ovlivňující výkon FVE je osvit. V našich podmínkách se dá uvažovat za ideální osvitu  $1000\text{W/m}^2$ . Následujících grafech jsou porovnány dva zcela odlišné dny v roce.

První je ze dne 3. 5. 2011, kdy panovalo velice zatažené a chladné počasí. Z grafu je pozorovatelný osvit pouze difusním zářením a z toho vyplývající slabý výkon elektrárny.



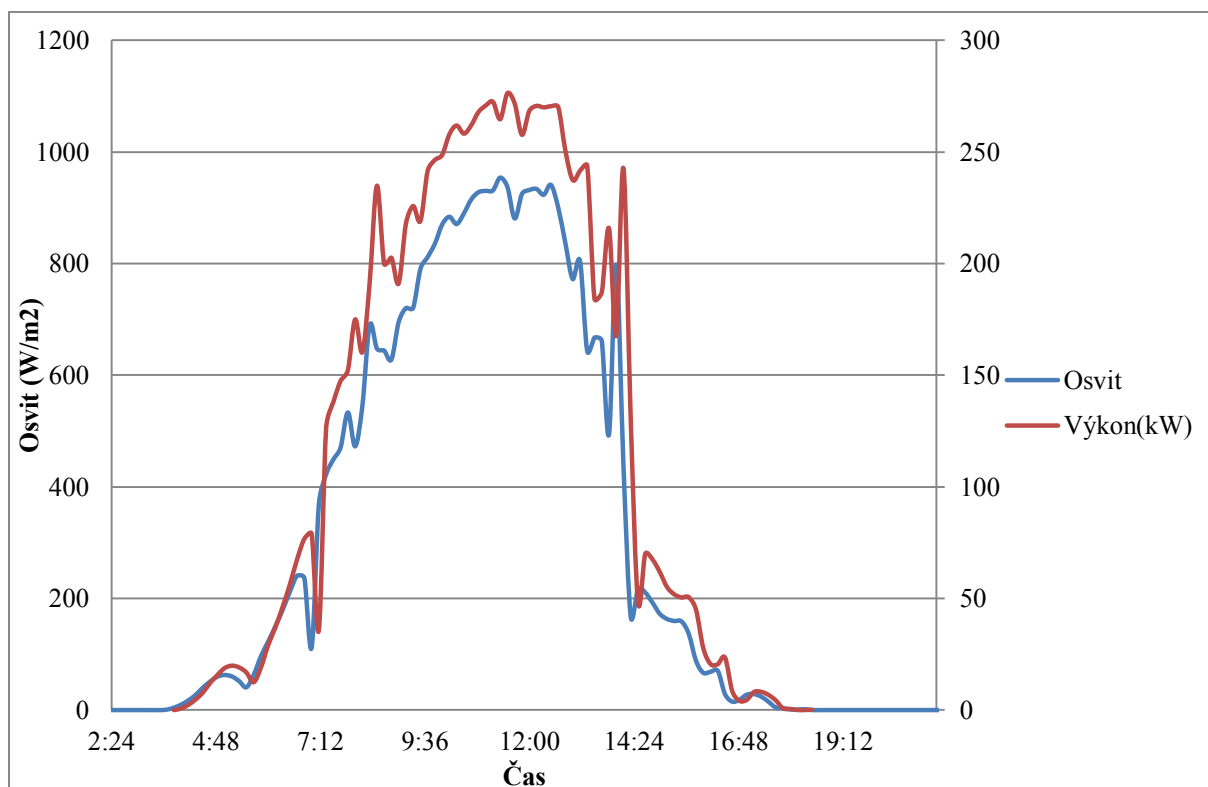
Obr. 25: Graf závislost výkonu na osvitu ze dne 3.5.2011



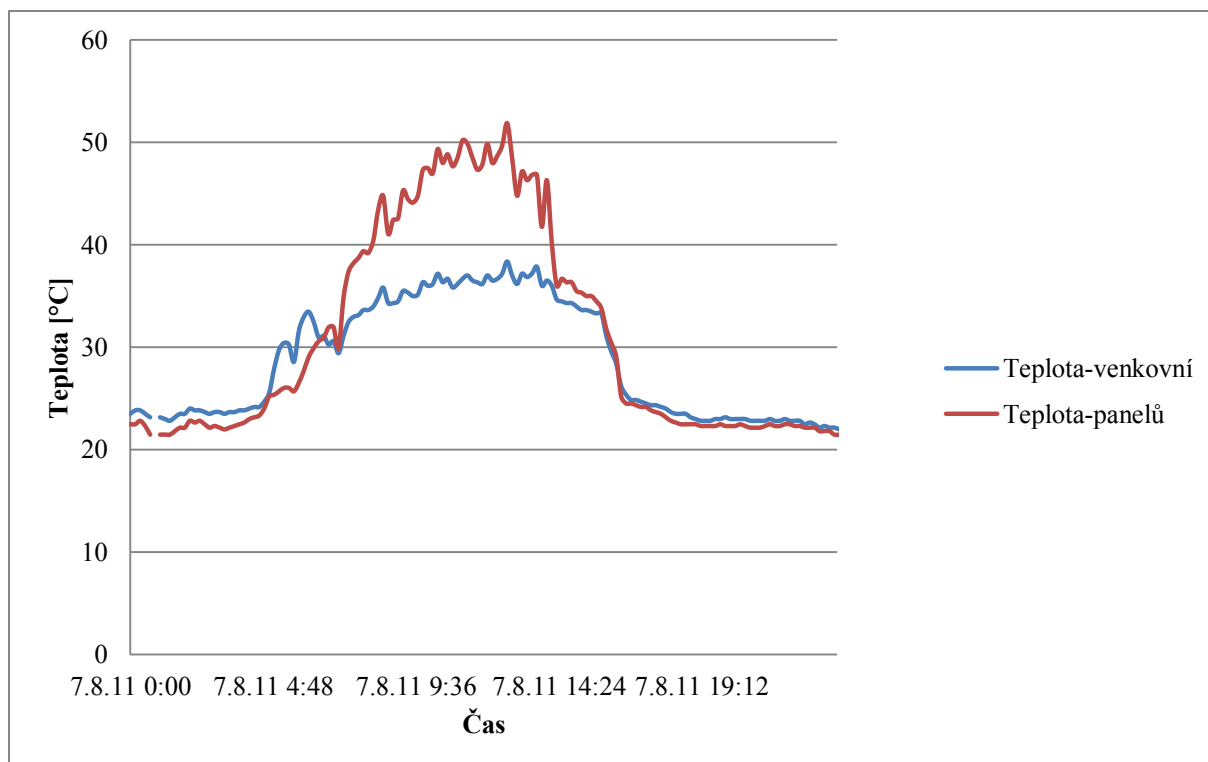


*Obr. 26: Graf denní venkovní teploty a teploty panelů ze dne 3.5.2011*

Naopak dne 20.8.2011 panoval teplý letní den, ovšem s varováním českého hydrometeorologického ústavu před výskytem silných bouřek zvláště v odpoledních hodinách. Příchod bouřky je na grafech jasně pozorovatelný v razantním snížení osvitu kolem 14:30 a také ochlazením panelů deštěm. Později také přirozeně klesá i teplota vzduchu. [18]



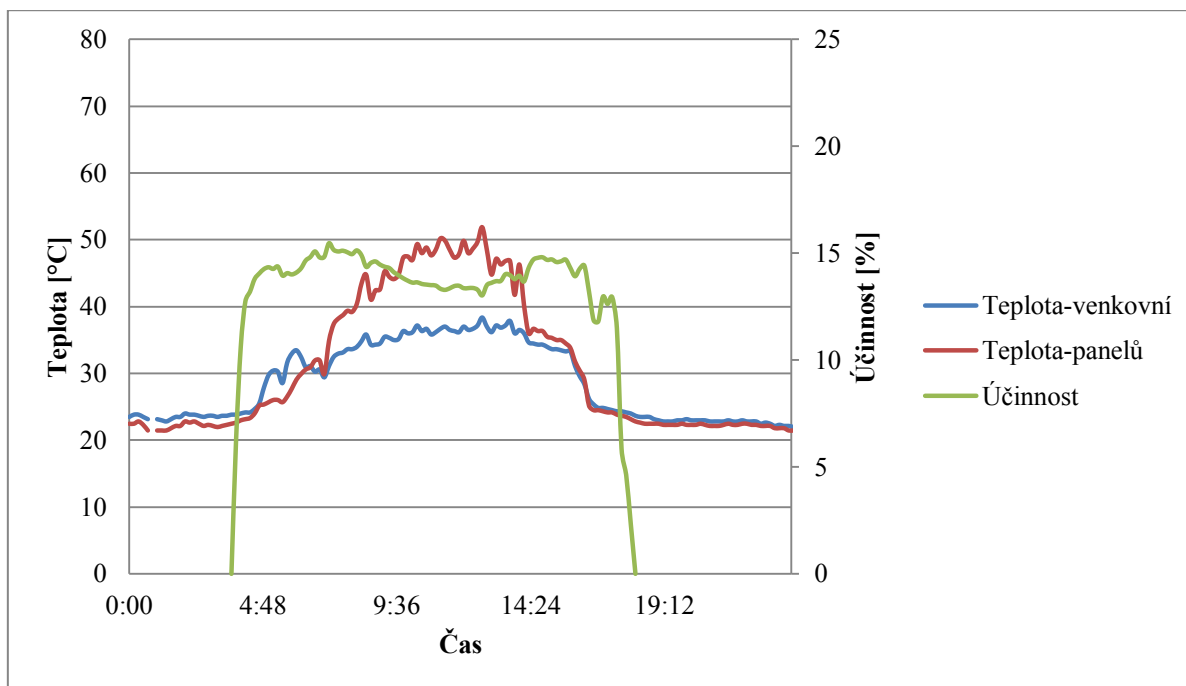
Obr. 27: Graf závislosti výkonu na osvitu ze dne 20.8.2011



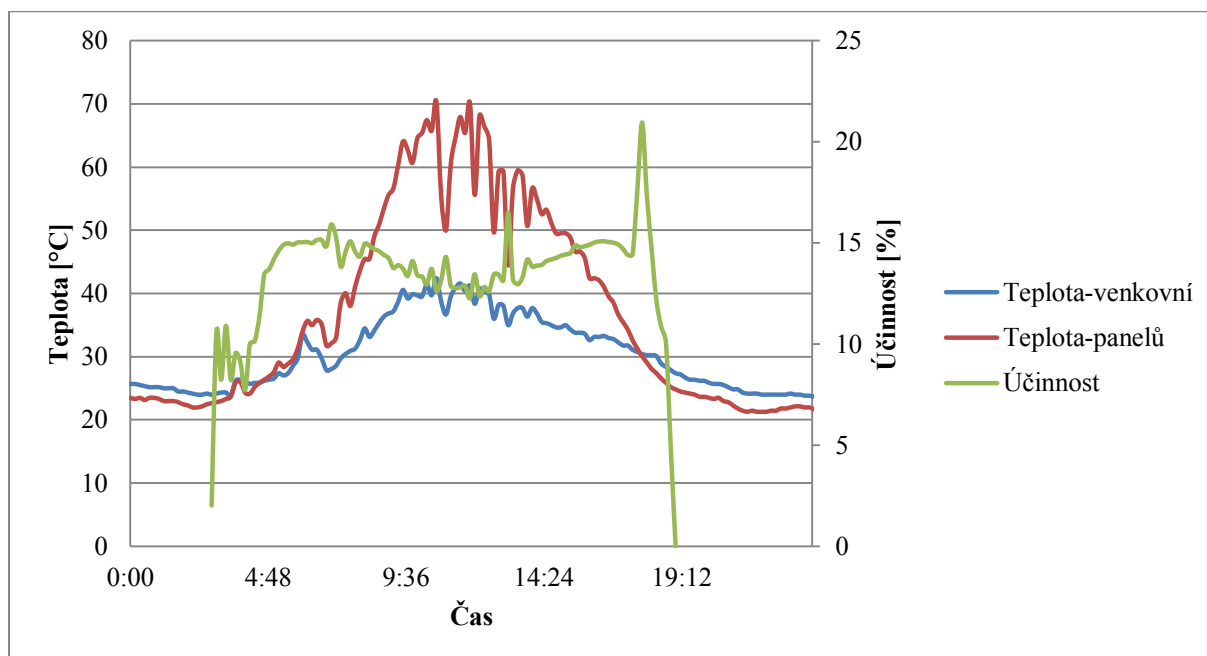
Obr. 28: Graf denní venkovní teploty a teploty panelů ze dne 20.8.2011

## 4.8 Vliv teploty panelů na účinnost elektrárny

Jak již víme z předchozích kapitol, teplota panelů ovlivňuje jejich účinnost a tím výkon, který vyrábí. Pohledem na průběh teploty panelů a křivky účinnosti docházíme k závěru, že nejlepší účinnosti elektrárna dosahuje v rozmezí teplot panelů do 42°C.



Obr. 29: Graf závislosti účinnosti na teplotě panelů ze dne 20.8.



Obr. 30: Graf závislosti účinnosti na teplotě panelů ze dne 10.7.

## ZÁVĚR

V této práci byly komplexně shrnuty informace o fungování solárních elektráren a jejich provozu. Provoz elektrárny je druh podnikání, a proto je nezbytné se o svoje podnikání starat tak, aby spolehlivě fungovalo a přinášelo zisk. V případě solárních elektráren se jedná hlavně o monitoring poruchových stavů elektrárny. Ty se vyznačují zpravidla odchylkou od běžného stavu. Pro odhalování chyb systému nám mohou posloužit dobře nastavené alarmy měřících systémů nebo odborná firma zabývající se touto problematikou.

Analýza měřených dat nám ukázala základní závislosti výstupního výkonu elektrárny na podmínkách daných podnebím a parametry zařízení. Prvním porovnáním prošel roční teoretický výkon elektrárny s použitím dvouosého trackovacího systému a elektrárny s panely na pevno. Trackovací systém by navýšil roční výkon elektrárny o 29%.

Porovnání teoretických a reálných výkonů elektrárny má ukázat, zda elektrárna funguje z dlouhodobého hlediska dobře. Teoretická hodnota vypočítaná internetovou kalkulačkou za období březen až prosinec činí 333,3 MWh, zatímco reálný výkon elektrárny ve stejném období v roce 2011 byl 343,79 MWh. Výsledkem je nárůst výkonu o 3,24% oproti předpokladu.

Zajímavým bodem bylo hledání optimální teploty panelů s vlivem na účinnost. Odečtem z grafů průběhu teploty panelů a účinnosti, se jeví jako optimální teplota provozu panelů do 42°C.

Solární elektrárny mají stále to nejlepší teprve před sebou. Potencionál nevyčerpatelného zdroje energie spolu s vývojem nových materiálů a technologií, nám dává do budoucna ještě větší možnosti rozšíření solárních elektráren po celé Zemi. Je však nezbytné pamatovat na základní myšlenku OZE a to je nahradit neobnovitelné zdroje energie a šetřit tím naše životní prostředí.

## LITERATURA

- [1] Apparatus for collecting and converting radial energy. *United States Patent* [online]. 2005 [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: <http://www.freepatentsonline.com/6971756.pdf>
- [2] České slunce: - solární panely, solární systémy, solární mapa, ekologie. *ČESKÉ SLUNCE* [online]. 2012 [cit. 2012-04-27]. Dostupné z: <http://www.ceskeslunce.cz/faq.html>
- [3] HENZE, Andreas a Werner HILLEBRAND. *Elektrický proud ze slunce: fotovoltaika v praxi : technika, přehled trhu, návody ke stavbě*. 1. české vyd. Překlad Václav Losík. Ostrava: HEL, 2000, 136 s. ISBN 80-861-6712-7.
- [4] KRIEG, Bernhard. *Elektrina ze Slunce: fotovoltaika v teorii a praxi*. 1. vyd. Ostrava: HEL, 1993, 223 s.
- [5] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD: Cenová rozhodnutí. In: *ERÚ* [online]. © 2011 [cit. 2012-04-27]. Dostupné z: [http://eru.cz/user\\_data/files/cenova%20rozhodnuti/CR%20elektro/2011/ER%20CR%207\\_2011OZEKVETDZ.pdf](http://eru.cz/user_data/files/cenova%20rozhodnuti/CR%20elektro/2011/ER%20CR%207_2011OZEKVETDZ.pdf)
- [6] Energie slunce - výroba elektřiny. *EkoWATT* [online]. 2007 [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: <http://www.ekowatt.cz/cz/informace/obnovitelne-zdroje-energie/energie-slunce---vyroba-elektřiny>
- [7] MURTINGER, Karel, Jiří BERANOVSKÝ a Milan TOMEŠ. *Fotovoltaika: elektrická energie ze slunce*. 1. vyd. Praha: EkoWATT, 2009, 93 s. ISBN 978-80-87333-01-3.
- [8] HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu*. 1. české vyd. Ostrava: HEL, 2011, 176 s. ISBN 978-80-86167-33-6.
- [9] LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. *Fotovoltaika: teorie i praxe využití solární energie*. 1. vyd. Praha: ILSA, 2009, 160 s. ISBN 978-80-904311-0-2.
- [10] FREE PATENTS ONLINE. *Patent Searching and Invention Patenting Information* [online]. © 2012 [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: <http://www.freepatentsonline.com/6971756-0-large.jpg>
- [11] Hřebenové koncentrátoři | Solární koncentrátoři | Pohyblivé solární koncentrátor. *Ridge-Concentrators* [online]. 2007 [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: <http://solar-solar.com/Attachments/PI8CT21.JPG>
- [12] Inhabitat. In: *Sustainable Design Innovat* [online]. [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: <http://inhabitat.com/files/sun1.jpg>
- [13] *MAPY.cz* [online]. 2012 [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: <http://www.mapy.cz/>

- [14] Návratnost fotovoltaické elektrárny. *Isofen Energy* [online]. 2012 [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: <http://www.isofenenergy.cz/Navratnost-fotovoltaicke-elektrarny.aspx>
- [15] New Physics at Work : Student's Corner. *Sciencecity* [online]. 2004 [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: [http://sciencecity.oupchina.com.hk/npaw/student/supplementary/images/fresnel-3\\_14.jpg](http://sciencecity.oupchina.com.hk/npaw/student/supplementary/images/fresnel-3_14.jpg)
- [16] Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps: PV potential estimation utility. [online]. [cit. 2012-04-27]. Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>
- [17] SOLAR TIME S.R.O. *Power Stations Monitoring* [online]. 2012 [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: <http://77.104.235.231/>
- [18] Předpověď počasí na sobotu 20.8.2011. BENEŠ, Jaroslav. *UDÁLOSTI112* [online]. 19.03.2011 [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: <http://www.udalosti112.cz/pocasi/predpoved-pocasi-na-sobotu-2082011.html>
- [19] *PV CYCLE | Providing Viable Solutions for your End-of-Life PV Modules* [online]. © 2011 [cit. 2012-04-27]. Dostupné z: <http://www.pvcycle.org/>
- [20] ŘÍDÍCÍ A MONITOROVACÍ SYSTÉM FVE -TECHNICKÉ ŘEŠENÍ. *DOMAT SOLAR SYSTEM* [online]. 2010 [cit. 2012-04-29]. Dostupné z: [http://domat-int.com/wp-content/uploads/domat\\_solar\\_system.pdf](http://domat-int.com/wp-content/uploads/domat_solar_system.pdf)
- [21] Řízení a monitorování solárních elektráren. *DOMAT INTERNATIONAL* [online]. ©2010 [cit. 2012-04-29]. Dostupné z: <http://domat-int.com/products-and-solutions/solar-systems/energy-management-station-for-monitoring-of-solar-power-plants>
- [22] Státní podpora fotovoltaiky v ČR | Slunce mi vydělává. *SLUNCE MI VYDĚLÁVÁ* [online]. © 2011 [cit. 2012-04-27]. Dostupné z: <http://www.sluncemivydelava.cz/statni-podpora-fotovoltaiiky-v-cr.html>
- [23] Škoda auto a.s.: Výroční zpráva. In: [online]. Ogilvy CID, 2010 [cit. 2012-04-27]. Dostupné z: [http://www.skoda-auto.cz/SiteCollectionDocuments/For\\_investors/CS/Vyrocní\\_zpravy/SkodaAuto\\_Annual\\_Report\\_2009\\_CZ.pdf](http://www.skoda-auto.cz/SiteCollectionDocuments/For_investors/CS/Vyrocní_zpravy/SkodaAuto_Annual_Report_2009_CZ.pdf)
- [24] TRITEC-ENERGY. *TRITEC: Danfoss TLX 15k PRO* [online]. ©2006 [cit. 2012-04-27]. Dostupné z: <http://www.tritec-energy.com/tritec/popup/language/en/aid/5545>

- [25] Wattsun Azimuth Tracker. *Tramelton Solar* [online]. © 2011 [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: [http://trameltonsolar.com/sites/default/files/imagecache/product\\_full/DSCF2077.JPG](http://trameltonsolar.com/sites/default/files/imagecache/product_full/DSCF2077.JPG)
- [26] Základy fotovoltaiiky. *ITserve s.r.o* [online]. 2011 [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: <http://www.itserve.cz/index.php/fotovltaicke-elektrarny/fotovoltaika>
- [27] Česká republika. ZÁKON: o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů. In: *180/2005 Sb.* 1. ledna 2011. Dostupné z: [http://www.eru.cz/user\\_data/files/legislativa/legislativa\\_CR/Zakony/ZOZE\\_1\\_1\\_2011.pdf](http://www.eru.cz/user_data/files/legislativa/legislativa_CR/Zakony/ZOZE_1_1_2011.pdf)

## **PŘÍLOHY**

Příloha č. 1 – Tabulky naměřených dat z kapitoly 4.